

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B2612 - Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022 - Informatika a logistika

Ovládání objektu pomocí Bluetooth
Controlling of the object with the Bluetooth

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: **Lukáš Vít**

Vedoucí práce: Ing. Martin Vlasák

V Liberci dne 15.5.2007

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Katedra softwarového inženýrství

Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Lukáš Vít
studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika
obor: 1802R022 - Informatika a logistika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu:

Ovládání objektu pomocí Bluetooth

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s objektem -autíčko se stejnosměrným motorkem a možnosti jeho pohybu po variabilní dráze
2. Navrhněte metodu komunikace objektu pomocí přenosové technologie Bluetooth
3. Realizujte přenos na aplikaci ovládání otáček motorku
4. Ověřte realizovaný HW
5. Vytvořte aplikaci pro PC, která dokáže komunikovat s objektem a řídit jeho pohyb

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Vlasákovi, konzultantu Ing. Pavlu Pirklu a celé katedře za rady a připomínky a za celkově velmi kladný profesní i lidský přístup. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu.

Anotace

Tato práce se zabývá dálkovým řízením pohyblivého objektu. Objektem je autíčko na autodráze, které bude ovládáno pomocí osobního počítače. Stěžejní částí této práce je výběr vhodných elektronických součástek a návrh hardwaru, který bude umístěn na pohyblivém objektu, bude schopen řídit otáčky stejnosměrného motoru a komunikovat s osobním počítačem pomocí bezdrátové technologie. Bezdrátová komunikace je podle zadání řešena využitím technologie Bluetooth.

Tento hardware dále zkonstruovat a ověřit jeho funkčnost. Vytvořit program pro řídicí mikrokontrolér, především pak vytvořit rutiny pro ovládání otáček motoru a sériovou komunikaci s dalším mikrokontrolérem.

V první části práce je čtenář seznámen s technologií Bluetooth. Technickým řešením, topologií sítě, možnostech využití a budoucností této technologie. Nepatrná část práce je věnována standartu RS-232 a způsobu řízení otáček pomocí PWM. Podstatná část celé práce je věnována seznámení se s postupem vývoje HW včetně výběru vhodných komponent a seznámení se s jejich vlastnostmi. Další část práce se zabývá vytvořenými programy a způsobem nastavování Bluetooth modulu.

Klíčová slova

Bluetooth, dálkové řízení, architektura 8051, autodráha, SS motorek.

Abstract

This labour is about a distance control of the moving object. The object is a toy-car on the motorway, that will be controlling via the personal computer. The fundamental part of this labour is to select the suitable electronics parts and to project the hardware, that will be positioned on the moving object. This hardware will be able to control speed of the direct current small motor and to communicate with the personal computer through the use of the technologies blue tooth. The wireless communications is according to the assignment solved by utilize the technologies blue tooth.

After it to construct this hardware and to verify his functionality. To create the commanding program of the micro controller. Than in particular to create rutin's to the controlling of the speed of the small motor and to the series communications with further micro controller.

In the first part of the labour the reader is informed about the technologies blue tooth. About the technical solutions, about the nets topology, about the possibilities of utilize and future of this technologies. The minor parts of the labour put brain to the RS 232 standard and to the way of control of the speed through the use of PWM. The main part of the labour put brain to inform about the procedure and development of the HW including the selections of the suitable components and become acquainted with their characteristics. Next part of the labour is engaged in just created programs and in the way of sett up of the blue tooth module.

Keywords

Bluetooth, remote control, 8051 Architecture, motorway, DC motor.

Obsah

Seznam použitých zkratk a výrazů.....	9
Úvod.....	10
1 Standard Bluetooth.....	11
1.1 Úvod do standardu	11
1.2 Technické řešení.....	11
1.2.1 Frekvenční pásma	11
1.2.2 Základní koncepce komunikační jednotky.....	12
1.2.3 Definice kanálu.....	13
1.2.4 Synchronní a asynchronní přenos.....	13
1.3 Komunikační profily a architektura přenosových protokolů.....	14
1.3.1 Topologie sítě.....	14
1.3.2 Vrstvy.....	14
1.3.3 Profily v Bluetooth	15
1.4 Bezpečnost a spolehlivost přenosu.....	16
1.5 Použití Bluetooth v praxi.....	17
1.5.1 Oblasti použití.....	17
1.5.2 Podmínky použití.....	17
1.5.3 Použití Bluetooth v průmyslovém prostředí.....	17
1.5.4 Budoucnost Bluetooth.....	18
2 RS-232.....	19
3 Volba mikrokontroléru.....	20
4 Charakteristika mikrokontroléru.....	21
4.1 Obecné vlastnosti rodiny mikrokontrolérů 8051.....	21
4.2 Části mikrokontroléru.....	22
4.3 AT89C2051.....	23
5 Volba zařízení zajišťujícího bezdrátovou komunikaci.....	24
5.1 Modul BlueNiceCom IV.....	25
6 Způsob řízení otáček stejnosměrného motoru.....	27
6.1 PWM.....	28
7 Konstrukční řešení HW.....	29
7.1 Blokové schéma zkonstruovaného zařízení	29

7.2 Jednotlivé funkční bloky.....	30
7.2.1 Zdroj napětí.....	30
7.2.2 Mikroprocesor.....	32
7.2.3 Spínací tranzistory pro PWM	33
7.2.4 Bluetooth modul.....	35
8 Metodika návrhu desky plošných spojů.....	36
9 Software.....	37
9.1 SW na straně osobního počítače.....	37
9.2 Programování Bluetooth modulu.....	38
9.2.1 Princip UART protokolu.....	38
9.2.2 Skládání rámce paketů.....	38
9.3 Program pro mikroprocesor AT89C2051.....	39
9.3.1 Volba programovacího jazyka.....	39
9.3.1 Program.....	39
9.3.2 Vývojový diagram hlavní části programu.....	40
9.3.3 Vývojový diagram podprogramu přerušení od časovače pro PWM.....	41
9.3.4 Vývojový diagram podprogramu přerušení od sériové linky.....	42
9.4 Vizualizace komunikace AT89C2051 s BT modulem.....	43
Závěr.....	44
Seznam použité literatury.....	46
Seznam příloh.....	49
Příloha A: Obsah přiloženého CD.....	50
Příloha B: Schéma zapojení modulu.....	51
Příloha C: Deska plošných spojů.....	52
Příloha D: Zdrojové kódy.....	54
I. Zdrojový kód pro mikroprocesor AT89C2051.....	54
II. Zdrojový kód programu pro PC.....	59

Seznam použitých zkratk a výrazů

ISM	Industrial, Scientific, Medical
ČR	Česká Republika
TDD	Time Division Duplex
ACL	Asynchronous Connectionless
SCO	Synchronous Connection Oriented
OSI	Open Systems Interconnection
GAP	Generic Access Profile
SDAP	Service Discovery Application Profile
GOEP	Generic Object Exchange Profile
LAN	Local Area Network
PDA	Personal Digital Assistant
PC	Personal Computer
CAN	Controller Area Network
USB	Univesal Serial Bus
HW	Hardware
SW	Software
CPU	Central Processing Unit
RAM	Random-access Memory

Úvod

Příchodem bezdrátových technologií se otvírají nové obzory ve všech sférách technických odvětví. Takřka všude, kde je realizováno spojení pomocí kabelů, lze s výhodou využít bezdrátové technologie. Často lze bezdrátovou technologii využít i na místech, kde by se drátové propojení realizovalo jen velmi obtížně například kvůli indukci na vedení.

Popularita bezdrátových technologií roste rovněž mezi širokou veřejností. Takřka denně se setkáváme s nejrůznějšími aplikacemi bezdrátových řešení, jakými jsou příslušenství mobilních telefonů apod. S ohledem na rostoucí popularitu bezdrátových technologií a poměrně nenasycený trh vznikla i myšlenka využít tyto technologie pro dálkové řízení stejnosměrného motorku.

1 Standard Bluetooth

1.1 Úvod do standardu

Standard Bluetooth byl koncipován jako bezdrátový komunikační standard, který využívá komunikační frekvenční pásmo ISM (tzn. Industrial, Scientific, Medical). Toto pásmo je volně k použití jen za předpokladu dodržení závazných podmínek pro vyzářený výkon a technického řešení vysílače i přijímače (tzv. nelicencované pásmo). Standard je navržen tak, aby podporoval různé typy přenosů, tedy point-to-point i point-to-multipoint. Standardní komunikační uzel má dosah od 10 do 100 metrů [1].

1.2 Technické řešení

1.2.1 Frekvenční pásma

Standard Bluetooth umožňuje komunikaci mezi účastníky spojených pomocí rádiového spoje v pásmu ISM. To pro většinu zemí světa (včetně ČR) představuje hodnoty od 2 400 do 2 483,5 MHz [1]. Pro provoz v tomto pásmu není potřeba povolení ani registrace na Českém telekomunikačním úřadu. V tomto pásmu definuje standard 79 frekvenčních pozic, přičemž šířka pásma je 1 MHz. Základní frekvence těchto pozic jsou dány vztahem

$$f_k = 2\,402 + k \text{ kde } k \text{ je celé číslo, } k = 0, 1 \dots 78 \text{ a } f_k \text{ frekvence (Mhz).}$$

Zařízení, které dodržují specifikaci normy Bluetooth, jsou podle svého maximálního vyzářeného výkonu rozdělena do tří kategorií, jak ukazuje tab. č.1.

Třída	Výstupní výkon		
	maximální	nominální	minimální
1	100 mW	nespecifikováno	1 mW
2	2,5 mW	1 mW	0,25 mW
3	1 mW	nespecifikováno	nespecifikováno

Tabulka 1: Rozdělení zařízení podle vyzářeného výkonu

V České Republice je nejvyšší možný povolený výkon vyzářený zařízením, které pracuje v tomto pásmu, 100 mW. Standard dále určuje, že první výkonová třída se nesmí používat k přenosu paketů mezi stanicemi v případě, že přijímací stanice není schopna podporovat mechanismus zpětného řízení výkonu vysílací strany. V takovém případě smí vysílací strana odpovídat pouze druhé a třetí výkonové třídě.

1.2.2 Základní koncepce komunikační jednotky

Komunikační jednotka standardu Bluetooth obsahuje

- rádiový vysílač (2,4 GHz Bluetooth radio) - zajišťuje samotný rádiový přenos,
- linkový ovladač - ovládá rádiový vysílač,
- správce linky - zajišťuje komunikace mezi vstupně-výstupními obvody a poskytuje uživateli terminálové rozhraní.



Obrázek 1: Základní koncepce jednotky Bluetooth

1.2.3 Definice kanálu

Kanál je reprezentován jako pseudonáhodná sekvence změn vysílací frekvence (přeskakující radiová frekvence – frequency hopping) mezi frekvenčními pozicemi 0 až 78. Všechny buňky sdílejí stejné frekvenční pásmo, které odpovídá 80MHz. Každý kanál je rozdělený do stejně dlouhých časových rámců (doba trvání časového rámce činí 625 μ s). Rozeznáváme dva druhy časování kanálů – TDD a multi-slot. Časování TDD odpovídá postupnému střídání řídicí a řízené jednotky ve vysílání signálu a časování multi-slot odpovídá situaci, kdy se využívá přeskoková sekvence pro přenos tak, že paket může obsadit více než jeden rámec.

1.2.4 Synchronní a asynchronní přenos

Standard Bluetooth může využívat dva typy komunikačních kanálů. Tyto se diametrálně liší přenosovými schopnostmi:

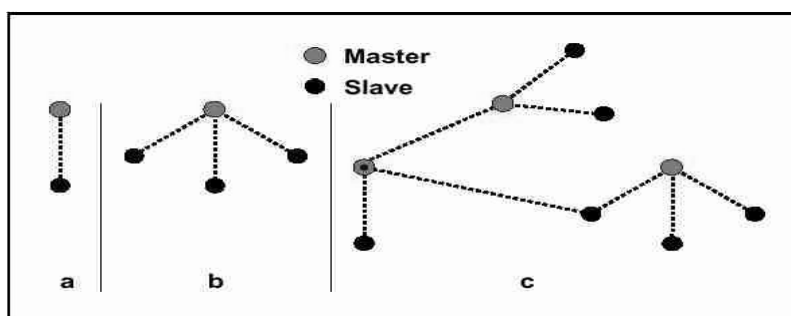
- asynchronní (ACL, Asynchronous Connectionless),
- synchronní (SCO, Synchronous Connection Oriented).

Oba můžeme využít k zajištění přenosů dat podle požadavků jednotlivých jednotek. Pro zajištění komplikovanějších přenosů, které kombinují oba typy kanálů, je možné v průběhu spojení měnit typ kanálu. Kanál typu ACL využívá časování multi-slot. Takovým způsobem je možné dosáhnout přenosové rychlosti 721 kb/s v jenom směru a 57,6 kb/s ve směru opačném (asymetrický kanál), popř. 433 kb/s v obou směrech (symetrický kanál). Uvedené přenosové rychlosti ovšem platí za předpokladu, že se neuplatňuje možnost opravy chyb při přenosu. Kanál typu SCO realizuje přenos dat rychlostí 64 kb/s v synchronním režimu. Tento typ kanálu je možné využít pro přenos dat, u kterých jsou zvýšené nároky na časový determinismus datového toku. Obecně lze říci, že kanál typu ACL je vhodnější k přenosu běžných dat, jeho výhodou je větší přenosová rychlost. Často se také využívá pro přenos dat, které zajišťují a řídí komunikaci v rámci buňky. Kanál typu SCO je vhodnější pro přenos zvuku a obrazu.

1.3 Komunikační profily a architektura přenosových protokolů

1.3.1 Topologie sítě

Struktura sítě je založena na buňkách piconet. Toto je základní komunikační buňka utvořená max. osmi jednotkami, z nichž se jedna jednotka chová jako jednotka řídící (master) a ostatní jako podřízené (slave). Řídící jednotkou se stává ta jednotka, která buňku piconet jako první vytváří. Tato jednotka je, jak již bylo řečeno, v každé buňce piconet pouze jedna, ale může svou funkci na základě specifických požadavků předat jiné jednotce. Buňka scatternet je organizační strukturou vyšší úrovně. Umožňuje koexistenci více buněk piconet ve stejné oblasti. Je to možné za předpokladu, že schopnosti jednotlivých buněk piconet nejsou omezovány v přenosových rychlostech ani kapacitách.



Obrázek 2: a) Buňka piconet s jednou řídící a jednou řízenou buňkou, b) Buňka piconet s více řízenými jednotkami, c) Buňka scatternet

1.3.2 Vrstvy

Na Bluetooth protokol je nejlépe nahlížet po jednotlivých vrstvách. První vrstva umožňuje spojení, které je zprostředkováno pomocí rádiového přenosu (vysílač, přijímač, analogová radioelektronika). Můžeme tedy říci, že se jedná o obdobu fyzické vrstvy v síťovém OSI modelu. V další vrstvě dochází k řízení inicializace spojení, komunikace a identifikaci. Tu lze přirovnat k síťové vrstvě OSI modelu. Třetí vrstva, která se nazývá Bluetooth Link Manager, vykonává tyto činnosti: připravuje data, zaručuje komunikaci se zařízením, kde je modul Bluetooth umístěn.

1.3.3 Profily v Bluetooth

Jednotky, které komunikují prostřednictvím standardu Bluetooth, využívají pro definici svých vlastností komunikační profily. Tyto profily definují služby, jež jednotlivá zařízení nabízejí a nebo poskytují svému okolí. Specifikace Bluetooth verze 1.1 určuje celkem třináct profilů zařízení :

1. *generic access profile (GAP),*
2. *service discovery application profile (SDAP),*
3. *cordless telephony profile,*
4. *intercom profile,*
5. *serial port profile,*
6. *headset profile,*
7. *dial-up networking profile,*
8. *fax profile,*
9. *LAN access profile,*
10. *generic object exchange profile (GOEP),*
11. *object push profile,*
12. *file transfer profile,*
13. *synchronisation profile.*

1.4 Bezpečnost a spolehlivost přenosu

V každé jednotce Bluetooth je bezpečný přenos zajištěn hned na několika úrovních, každá jednotka Bluetooth má svou unikátní 48bitovou adresu zařízení (BD_ADDR). Každá jednotka využívá 128bitový autentifikační privátní klíč, 8bitový až 128bitový šifrovací klíč a 128bitové pseudonáhodné číslo. Pro generování jednotlivých klíčů se ještě využívá pin o délce do 128 bitů. Na základě využití těchto čísel můžeme provozovat zařízení v různých úrovních zabezpečení.

Profil definuje úroveň zabezpečení takto:

- zabezpečovací mód 1: žádné zabezpečení,
- zabezpečovací mód 2: zabezpečení na úrovni služeb
(ne všechny služby jsou dostupné pro všechna zařízení),
- zabezpečovací mód 3: zabezpečení na úrovni linkové vrstvy
(přenos probíhá po zašifrovaném kanálu).

Z hlediska poskytovatele služeb se úroveň zabezpečení rozděluje na důvěryhodná a nedůvěryhodná. U některých služeb je pak vyžadována jak autentifikace (ověření identity zařízení), tak autorizace (oprávnění k využití služby). U některých systémů je povinná pouze autentifikace.

1.5 Použití Bluetooth v praxi

1.5.1 Oblasti použití

Standard je koncipován zejména pro jednoduché a stálé propojení mezi širokou škálou komunikačních zařízení, jako jsou např. telefony (celulární telefony, bezdrátové telefony), počítače, počítačové periferie, PDA, komunikační periferie apod. Vzhledem k jeho parametrům lze zaznamenat průnik jeho aplikací i do průmyslového prostředí. Zde je využíván pro propojení senzorů, akčních členů, pro telemetrii a přenos informací v měřicích systémech.

1.5.2 Podmínky použití

Standard Bluetooth může být využíván každým výrobcem, přestože je chráněn patenty. Za použití jeho technologie se však neplatí žádné licenční poplatky. Aby bylo možné označovat výrobky logem Bluetooth, musí získat certifikát, který uděluje příslušná organizace poté, co konkrétní výrobek splní náročné testy na kompatibilitu. Pak teprve výrobce získá licenci k prodeji.

1.5.3 Použití Bluetooth v průmyslovém prostředí

Průmyslová zařízení jsou buď konvertory RS-232 na Bluetooth, které můžeme v dnešní době najít v sortimentu mnoha firem, nebo zařízení, u nichž bylo sériové rozhraní nahrazeno rozhraním Bluetooth s profilem K5 (serial port profile). Taková zařízení zastupuje např. měniče frekvence Fuji Electric, které lze po doplnění karty AnyBus-S Bluetooth konfigurovat přes Bluetooth z aplikace právě běžící na přenosném počítači. Také firma ABB vyvíjí již modifikované varianty svých řídicích členů, v nichž nahrazuje rozhraní RS-232 rozhraním Bluetooth. Dále může být jmenována také švédská firma ConnectBlue AB, která nejen vyrábí ale i dodává převodníky standardu Bluetooth na komunikační kanál RS-232/RS-485/RS-422.

Jako zajímavé řešení se jeví využití převodníků standardu Bluetooth na jiné standardní sériové průmyslové sběrnice. Již vyzkoušeným příkladem je CANblue firmy ConnectBlue AB, které umožňuje připojit zařízení se standardní komunikační sběrnici CAN k nadřazenému systému, jímž je obvykle PC, kde se v operačním

systému objevuje jako virtuální sériový port. Takové řešení je vhodné pro monitorování těžko dostupných zařízení komunikujících po sběrnici CAN.

Využití standardu pro začlenění do průmyslových systémů se často uvádí jako obvyklé, avšak realizací a implementací je zatím poměrně málo. Implementace, které můžeme najít na trhu, se postupně prosazují v oblasti telemetrie a sběru dat. Vývoj aplikací, včetně aplikací průmyslových, je však relativně nákladný. A navíc specifikace Bluetooth, vzhledem ke svému původnímu zaměření, neobsahuje profily zařízení, které by byly přímo použitelné v oblasti automatizace.

1.5.4 Budoucnost Bluetooth

V budoucnosti je očekáváno poměrně úspěšné proniknutí Bluetooth do těch aplikací, které vyžadují komunikaci se zařízeními umístěnými v těžce dostupných místech. Také je očekáváno úspěšné proniknutí do aplikací s velmi vysokými nároky na čistotu (farmaceutický průmysl) – zde Bluetooth zastoupí kabely a konektory, jež vždy z hlediska udržení vysoké čistoty nesou nejvíce problémů. Zároveň s využíváním standardního profilu K5 lze očekávat výskyt proprietárních řešení, která použijí Bluetooth pouze jako fyzickou vrstvu pro zajištění komunikace a specifické potřeby jednotlivých zařízení se budou řešit mimo standardní profily.

V současné době vyrábí čipy pro Bluetooth většina velkých světových výrobců mikroprocesorů (Intel, IBM, Motorola, Phillips, Toshiba) . Jejich čipy jsou dvoudílné, takže vysokofrekvenční část a řadič jsou oddělené. Cílem všech výrobců je tyto dvě části integrovat do jednoho mikročipu čímž jejich cena klesne.

2 RS-232

RS-232 je standard, který definuje jak asynchronní tak synchronní sériovou komunikaci. Byl navržen především ke vzájemné komunikaci mezi osobními počítači a další elektronikou. Dříve byl v oblasti osobních počítačů hojně využíván, dnes je však již standard v drtivé většině nahrazen výkonnějším Univerzálním Sériovým Rozhraním – USB. Modifikace RS-232 se doposud používají v průmyslových aplikacích, díky svým specifickým rysům se od jejich používání pravděpodobně neustoupí ani v blízké budoucnosti.

Standard se nezabývá vyššími vrstvami komunikace, ale pouze definuje, jak přenést určitou sekvenci bitů. Ty jsou při komunikaci zasílány postupně za sebou po jediném vodiči. Z toho plyne, že umožňuje propojení a vzájemnou sériovou komunikaci pouze dvou zařízení. Standard RS-232 uvádí jako maximální možnou délku vodičů 15 metrů, nebo délku vodiče o kapacitě 2500 pF [2]. Přenos dat je zabezpečen paritou. Jde o jeden z nejjednodušších způsobů, který neklade velké nároky na výpočetní techniku a je přesto dostatečně funkční. Ukončení rámce je definováno Stop bitem. Datové bity se přenášejí od nejméně významného bitu po bit nejvýznamnější. Obvykle se používá 8 bitů, avšak počet bitů je volitelný. Dvě úrovně napětí určují logický stav 0 resp. 1 přenášených dat. Úroveň napětí může nabývat různých hodnot v závislosti na použitém zařízení. Nejčastěji je používána hodnota $\pm 12\text{V}$ pro logickou 1/0. Nejdůležitějšími vodiči jsou RxD, TxD, GND. Tyto slouží pro vysílání a příjem a třetí vodič je společné uzemnění dvou již zmíněných vodičů. Standard dále definuje další pomocné vodiče sloužící k řízení přenosu. Tyto ale nemusí být zapojeny v konstrukci, jsou totiž použity pouze tři již zmíněné vodiče.

3 Volba mikrokontroléru

Pro tuto konstrukci budou potřeba minimálně dvě vstupně-výstupní brány, sériová linka, možnost uložit program o velikosti nepřesahující 1KB. Tyto požadavky splňuje drtivá většina jednočipových mikroprocesorů, které jsou v současné době na trhu. Proto byl při výběru mikroprocesoru dále kladen důraz na velikost pouzdra a počet nožiček mikroprocesoru, dále pak na cenovou dostupnost a jednoduché použití. Bylo potřeba vybrat takový mikroprocesor, který bude pracovat se stejnou logikou jako modul Bluetooth, v nejlepším případě pak se stejným napájecím napětím, čímž by se celá konstrukce HW značně zjednodušila.

Bylo rozhodnuto použít některý z mikroprocesorů od firmy Atmel z rodiny 8051. Firma Atmel má ve své nabídce širokou škálu mikroprocesorů založených na jádru 8051, které se dále dělí podle způsobu programování. Pro tuto konstrukci byl použit jeden z tzv. Flash-Reprogrammable procesorů, to je elektronicky přeprogramovatelné mikroprocesory, k jejichž programování se používá externích programátorů. Následující tabulka zobrazuje některé důležité parametry vybraných mikroprocesorů.

Název	AT89C51RC	AT89C2051	AT89C55WD	AT89LV55
Pouzdro	PDIP 40	DIP 20	PDIP 40	PDIP 40
Velikost pouzdra[mm x mm]	15 x 52	7 x 24	15 x 52	15 x 52
Počet v/v bran	32	15	32	32
Velikost paměti [KB]	32	2	20	20
Napájecí napětí [V]	4-6	2,7-6	4-6	2,7

Tabulka 2: Přehled vybraných parametrů mikrokontrolérů

Z těchto mikroprocesorů byl vybrán mikroprocesor AT89C2051. Ten má nejmenší velikost paměťového prostoru (2KB), i přesto je tato velikost více než dostačující. Rozměry pouzdra jsou díky malému počtu v/v bran akceptovatelné a především disponuje největším rozsahem napájecího napětí, díky čemuž je větší šance, že se napájecí napětí bude shodovat s napájecím napětím modulu Bluetooth.

4 Charakteristika mikrokontroléru

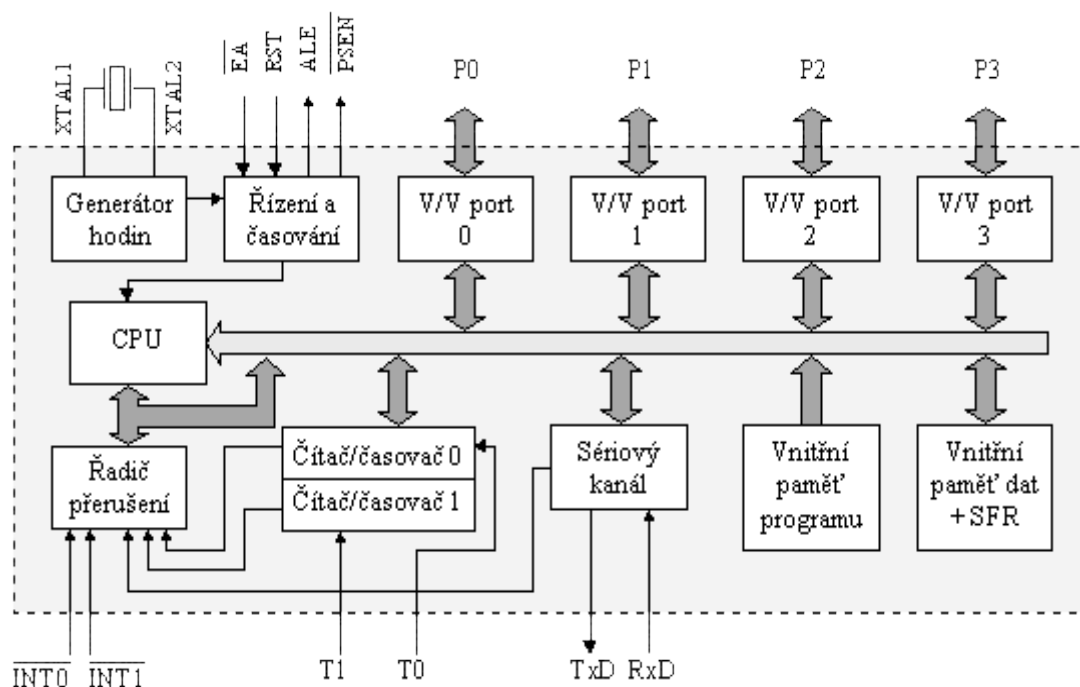
4.1 Obecné vlastnosti rodiny mikrokontrolérů 8051

Mikroprocesor 8051 je osmi-bitový jednočipový mikroprocesor s harvardskou strukturou. To znamená, že má oddělenou programovou a datovou paměť. Přestože jde o architekturu z roku 1980, je u návrhářů elektronických zařízení stále oblíben. Krom toho je velmi často používán i ve výuce na technických školách. Od doby uvedení mikroprocesoru na trh se objevily další požadavky a to především na začlenění nových prvků do původní verze. Vzniklo tak mnoho nových variant mikroprocesoru 8051, který je dnes oproti původní verzi vyráběn v různě pozměněných variantách s rozlišnými vylepšeními a doplňujícími periferiemi. Různé varianty se od sebe liší především počtem výstupně/výstupních bran, typem a velikostí použité paměti, velikostí příkonu a dalšími speciálními obvody, které jsou implementovány. Například firma Atmel vyrábí 54 různých typů mikroprocesorů založených na architektuře 8051 [3] .

4.2 Části mikrokontroléru

Jednu z nejdůležitějších částí mikroprocesoru tvoří CPU (centrální procesorová jednotka). Obsahuje mimo jiné aritmeticko-logickou jednotku. Ta umožňuje vykonávat instrukce programu a obsahuje kromě sčítačky/odčítačky i násobičku/děličku a booleovskou aritmetickou jednotku. Centrální procesorová jednotka je společnou sběrnici propojena s pamětí programu a pamětí dat. Ke společné sběrnici jsou dále připojeny vstupně/výstupní porty, které umožňují styk mikroprocesoru s vnějšími periferiemi. Mikroprocesor obsahuje dva šestnáctibitové čítače/časovače, u kterých lze volit režim provozu, duplexní sériový kanál, který umožňuje sériovou komunikaci s dalšími mikroprocesory nebo počítačem. Dále je mikroprocesor vybaven řadičem přerušení, to umožňuje snadnější styk s periferiemi. Přerušení mají definovanou prioritu. Řadič přerušení zpracovává přerušení

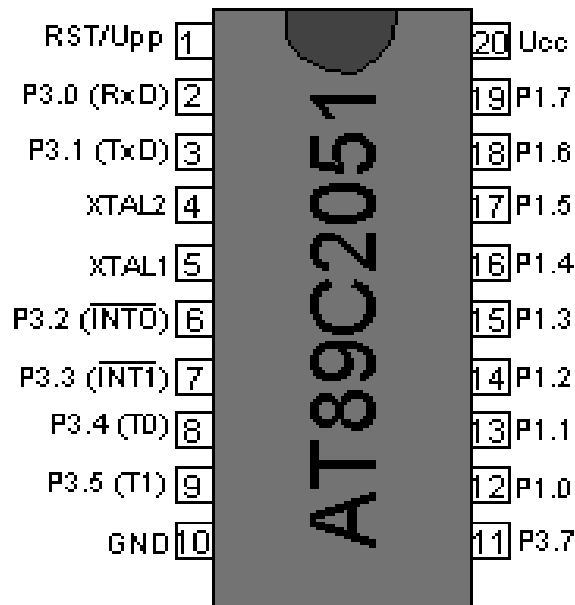
- od externího zdroje,
- od čítačů/časovačů,
- od sériového kanálu.



Obrázek 3: Blokové schéma mikroprocesoru 8051

4.3 AT89C2051

Záměrně byl vybrán takto jednoduchý a nenáročný mikroprocesor, který neoplývá množstvím doplňujících obvodů, které by stejně v této konstrukci nebyly využity. Vybraný mikroprocesor je jednoduchý, malý a přesto více než dostačující.



Obrázek 4: AT89C2051 v pouzdře DIP20

Stručný popis mikroprocesoru:

- Programová paměť Flash velikosti 2 KB,
- Datová RAM o kapacitě 128 B,
- Napájecí napětí v rozsahu 2,7 až 6 V,
- Mikrořadič může ovládat 15 vstupně/výstupních linek,
- Analogový komparátor,
- Dva šestnáctibitové čítače/časovače,
- Programovatelný sériový kanál.

5 Volba zařízení zajišťujícího bezdrátovou komunikaci

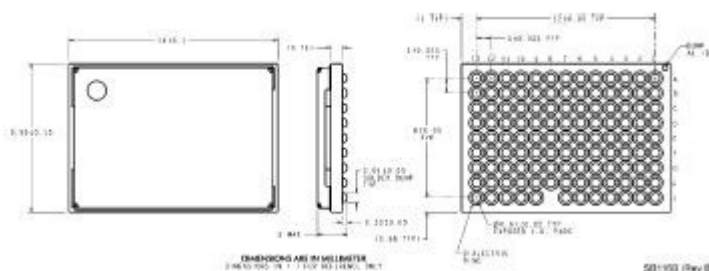
Pro konstrukci zcela postačuje zařízení, které dokáže nahradit sériové (kabelové) propojení autíčka s PC propojením bezdrátovým (Bluetooth). Jinak řečeno zcela postačuje jednoduchý převodník Bluetooth/RS-232.

Převodníky Bluetooth/RS-232, jako hotové a zapouzdřené řešení, nabízí velké množství výrobců. Jedním takovým zařízením je například TRBLUE21 od firmy EZURIO. Na první pohled se tyto převodníky zdají být ideálním řešením, které konstruktérům ušetří mnoho práce s návrhem HW a skutečně tomu tak je. Avšak velkou nevýhodou těchto zařízení, pomineme-li vysokou cenu (řádově \$100), je jejich velikost. Ta znemožňuje použití takových převodníků v konstrukci, jako je tato. Převodník této velikosti není možné umístit na pohyblivé autíčko.



Obrázek 5: Bluetooth/RS-232 převodník

Další možností je použít přímo programovatelný mikrokontrolér obsahující Bluetooth rádio. Takovým je například CP3BT26, LMX5452 nebo LMX9830 od firmy National Semiconductor. Tyto mikroprocesory lze relativně jednoduše naprogramovat tak, aby se chovali jako převodník Bluetooth/RS-232. Přestože se to zdá nepochopitelné, ani tyto mikroprocesory nelze v této konstrukci použít. Svou velikostí sice plně vyhovují požadavkům konstruovaného zařízení, jsou však zapouzdřeny do pouzder s vysokou integrací, které v běžných „domácích podmínkách“ nelze použít.

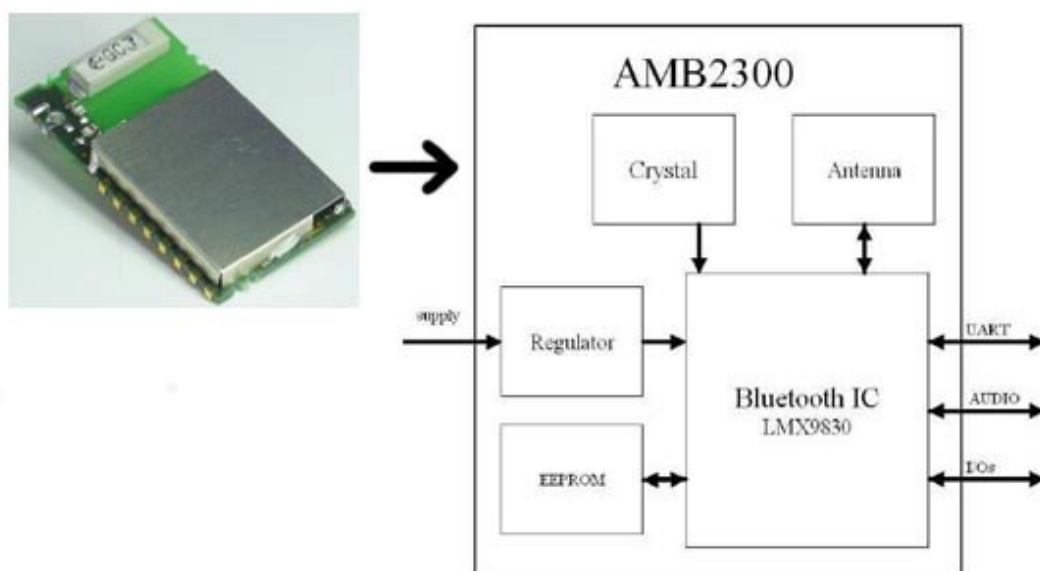


Obrázek 6: Pouzdro mikroprocesoru LMX9830

5.1 Modul BlueNiceCom IV

Ideálním kompromisem mezi hotovým zapouzdřeným převodníkem a syrovým mikroprocesorem je v konstrukci použitý Bluetooth modul BlueNiceComIV od firmy Amber Wireless. BlueNiceComIV modul v sobě integruje Bluetooth rádio v podobě obvodu LMX9830, anténu, krystal a všechny potřebné podpůrné obvody vč. implementovaného protokolu. Díky tomu je možné mikroprocesor LMX9830 použít i v „domácích podmínkách“. Odpadá tak nutnost strojového pájení a nutnost zajistit modulu podpůrné obvody, mezi něž patří například zdroj hodinového signálu a podobně.

Protokol zajišťuje možnost komunikace a nastavování jednotlivých parametrů přímo přes sériovou linku v této konstrukci přímo z mikroprocesoru AT89C2051. Jak je vidět, BlueNiceCom IV je plně integrované universální Bluetooth řešení, které umožňuje spolehlivý přenos dat. Modul umožňuje komunikaci point-to-point a point-to-multipoint. Podporuje přenos dat RF (rádiovou technologii) rychlostí až 704 kbps. Použití tohoto modulu usnadní návrháři zařízení mnoho práce s vývojem HW.



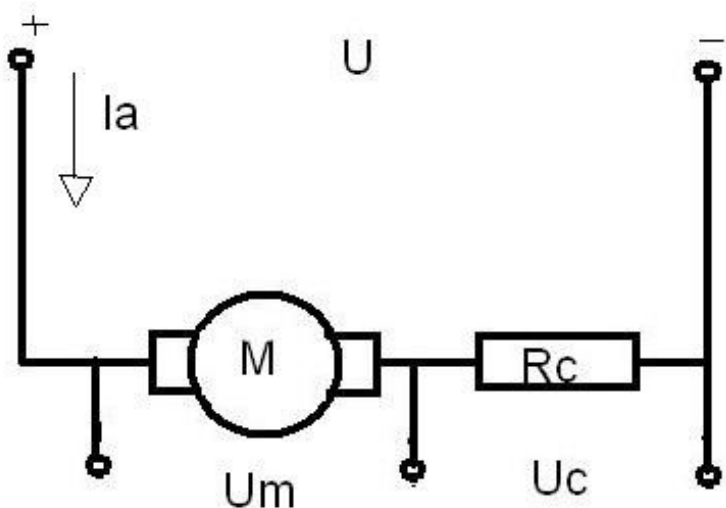
Obrázek 7: Modul BlueNiceCom IV a jeho blokové schéma

RF frekvence [GHz]	2,4
RF vyzářený výkon [mW]	2
RF citlivost [dBm]	-77
Příkon v režimu příjmu [mA]	15
Příkon v režimu přenosu [mA]	48
Napájecí napětí [V]	3,0 až 3,6
Rychlost přenosu dat po sériové lince [Kbps]	9,6 až 921
Pracovní teplota [°C]	-20 až + 70
Rozměry [mm]	27,5 x 16 x 3,5

Tabulka 3: Některé vybrané vlastnosti modulu Bluetooth

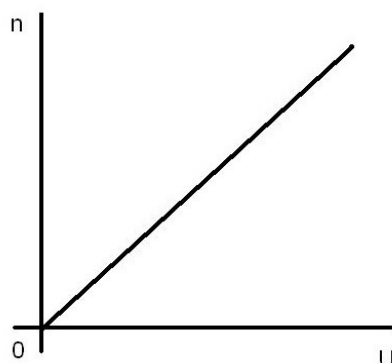
6 Způsob řízení otáček stejnosměrného motoru

Z náhradního schéma stejnosměrného motoru, které vidíme na obrázku č.8, lze podle II. Kirchofova zákona získat rovnici, která udává vztah mezi svorkovým napětím U a indukovaným napětím U_m . $U_m = U - U_c = U - I_a * R_c$. V této rovnici je zanedbán úbytek napětí na kartáčích motoru, který je nelineárně závislý na proudové hustotě. Vnitřní moment kotvy je dán vztahem $M_i = c * \Phi * I_a$. Závislost momentu stroje na otáčkách (momentovou charakteristiku) získáme dosazením vztahu pro vnitřní moment kotvy do vztahu pro svorkové napětí $U = c * \Phi * \omega + R_c * I_a$ po úpravě $\omega = \frac{(U - R_c * I_a)}{(c * \Phi)}$. Ze vztahu vyplývá, že otáčky lze regulovat změnou napájecího napětí U nebo změnou budícího proudu I .



Obrázek 8: Náhradní schéma stejnosměrného motoru

Z důvodu lineární závislosti otáček na napájecím napětí je vybráno jako vhodnější řešení řízení otáček pomocí změny napájecího napětí. V ideálním případě by bylo napájecí napětí řízeno spojitě, čímž by bylo zajištěno plynulé řízení otáček stejnosměrného motoru.



Obrázek 9: Závislost otáček na napětí

Srdcem celého zařízení je ale mikroprocesor, který pracuje nespojitě. Vystává tak otázka, jakým způsobem digitálně řídit napájecí napětí. Jako nejoptimálnější se v tomto případě jeví pulzně šířková modulace, která při dostatečně jemném rozdělení periody plně nahradí spojitě řízení napájecího napětí stejnosměrného motoru.

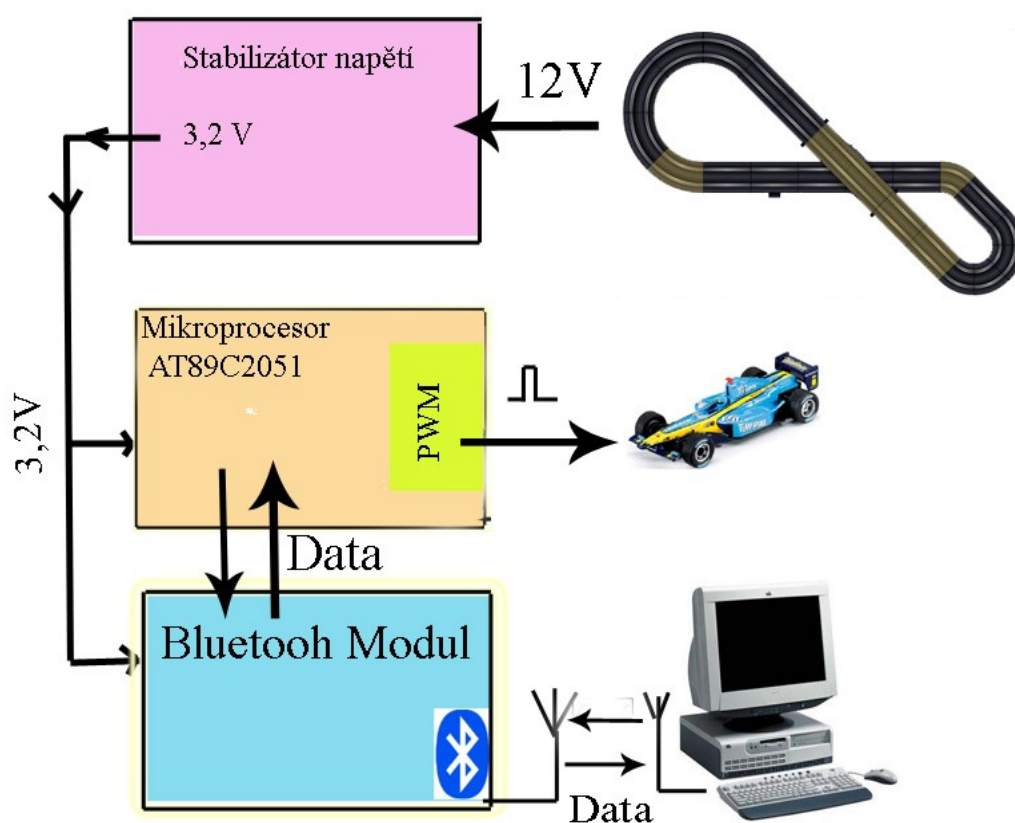
6.1 PWM

PWM, neboli pulzně šířková modulace, je způsob, jakým lze řídit výkon motoru pomocí spínacích tranzistorů. U signálu s konstantní periodou T se mění pouze střída napětí, to je poměr délky impulzu ku délce mezery uvažovaný v jedné periodě. Princip tedy spočívá v rychlém spínání a vypínání napájení ss motoru. Díky setrvačnosti rotoru a dostatečně vysoké frekvenci spínání, rotor tyto změny nestačí sledovat. Motor se proto chová, jako kdyby byl napájen napětím o velikosti střední hodnoty modulovaného signálu (napětí). Střída se uvádí většinou jako poměr (1:1,2:1,1:5 atd.), kdy jedno číslo představuje impulz, druhé pak mezeru. V tomto případě je nutné definovat, jaké číslo představuje impulz a jaké mezeru. Mnohem zřejmější je způsob, kdy se střída vyjadřuje procentuálně. Otáčky motoru jsou úměrné napájecímu napětí a zatížení. Ta je dána poměrem doby zapnutí a vypnutí $U = T_1 + T_2 / T_1 * U_{\max}$. PWM se mimo jiné dá využít i pro kódování dat.

7 Konstrukční řešení HW

7.1 Blokové schéma zkonstruovaného zařízení

Zařízení se skládá ze tří hlavních bloků. Stabilizátor napětí zajišťující napájecí napětí pro ostatní bloky. Mikroprocesor s podpůrnými obvody, který se stará o řízení otáček stejnosměrného motorku, naprogramování Bluetooth modulu, koordinaci a komunikaci mezi moduly. Modul Bluetooth pak zajišťuje bezdrátovou komunikaci PC s mikroprocesorem. Modul se po naprogramování chová jako Bluetooth/RS-232 převodník.



Obrázek 10: Blokové schéma celého zařízení

7.2 Jednotlivé funkční bloky

7.2.1 Zdroj napětí

Zařízení pracuje s napájecím napětím 12V. Tento fakt vyvstal z použitého napájení autodráhy, pro kterou je zařízení vyvíjeno. Bluetooth modul však pracuje s napětím 2,9-3,3V a použitý mikrokontrolér s napětím 2,7-6V. Z toho důvodu musí být napětí stabilizováno přibližně na hodnotu průniku obou těchto rozsahů. A to konkrétně na hodnotu 3V. V současné době (v roce 2007) se na trhu nenachází žádný stabilizátor napětí s výstupní hodnotou 3V, který by byl schopný dodávat do obvodu více než 100mA, což je vzhledem ke spotřebě obou mikroprocesorů (cca. 160mA) nedostatečné. Jako vhodné řešení této situace se jeví použití stabilizátoru LM317.

LM317 je tří svorkový stabilizátor napětí s regulovatelnou ztrátou. Napětí lze pomocí změny poměru odporů R5,R6 měnit v rozmezí 1,2V až 37V. Tolerance výstupního napětí je 1% a výstupní proud až 1,5A. Tento stabilizátor je tedy po vhodném výběru daných odporů možné použít pro stabilizaci napětí na hodnotu 3,3V při dostatečném výstupním proudu.

Jelikož se autíčko po autodráze pohybuje, je přenos elektrické energie z kolejí do autíčka (motorku) řešen sběrači napětí (kartáči), které jsou umístěny na autíčku a přiléhají ke kolejím.



Obrázek 11: Kartáče zajišťující přenos elektrické energie

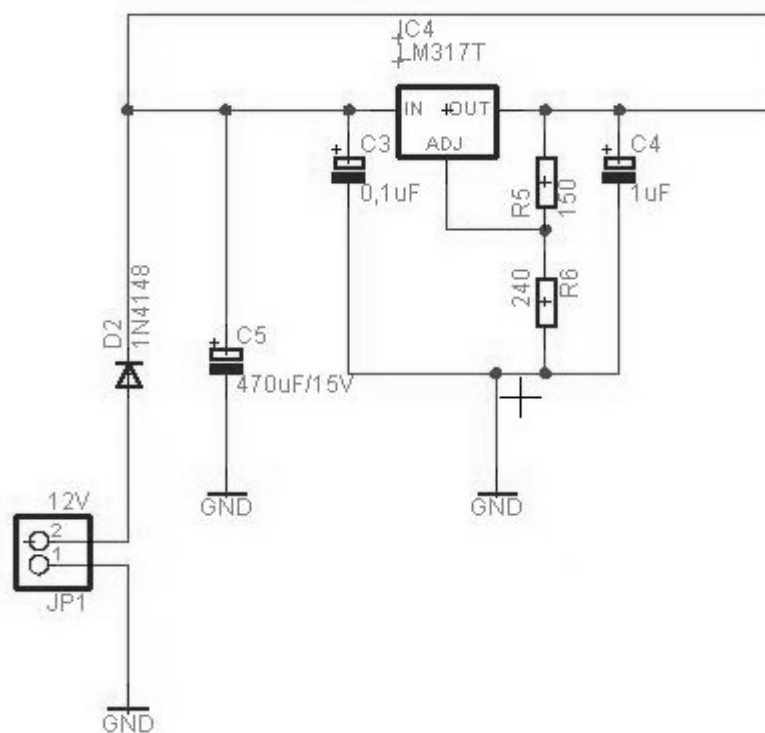
Toto řešení způsobuje výpadky napětí, které ale stejnosměrnému motorku v autíčku nevadí a na jeho funkci nemají žádný vliv. Avšak výpadky napětí by, pro konstruované zařízení, měly fatální následky v podobě neustálého restartování mikroprocesorů, které by tím pádem byly při každém výpadku na krátkou dobu odstaveny z činnosti. Díky tomu by se autíčko dostalo na krátkou dobu do neřiditelného stavu. V případě velké frekvence výpadků by bylo zkonstruované zařízení plně nepoužitelné a nefunkční. Tyto výpadky lze potlačit kondenzátorem o dostatečně velké kapacitě umístěným paralelně ke zdroji napájení (12V).

Kondenzátor se po dobu kontaktu kartáčů s kolejiemi nabíjí a v době výpadku naopak dodává energii zpět do systému. Ve schématu se jedná o kondenzátor C5 o velikosti 470uF.

Hodnoty kondenzátorů C3=0,1uF, C4=1uF jsou zvoleny podle dokumentace a jsou doporučenými hodnotami výrobce stabilizátoru. Výpočet odporů R5, R6 se řídil hlavním požadavkem a to výstupním napětím cca. 3,3V. Podle vzorce, ve kterém je zanedbán proud rezistorem R6, který by neměl na výsledné napětí v tomto případě mít velký vliv, je vypočten poměr, jehož je potřeba dosáhnout kombinací rezistorů R6 a R5. Dosazením hodnoty požadovaného napětí 3,3 V do z dokumentace převzatého vzorce vypočteme požadovaný poměr obou odporů.

$$U = 3,3 = 1,25 * \left(1 + \frac{R6}{R5}\right) \text{ z toho plyne } \frac{R6}{R5} = 1,6$$

Poměr velikostí R6, R5 tedy musí být 1,6. Rezistory se vyrábějí v tzv. řadách. Z této řady jsou, při akceptování požadavku na hodnotu poměru těchto rezistorů, vybrány hodnoty rezistorů 240Ω a 150Ω. Což přesně odpovídá danému poměru.



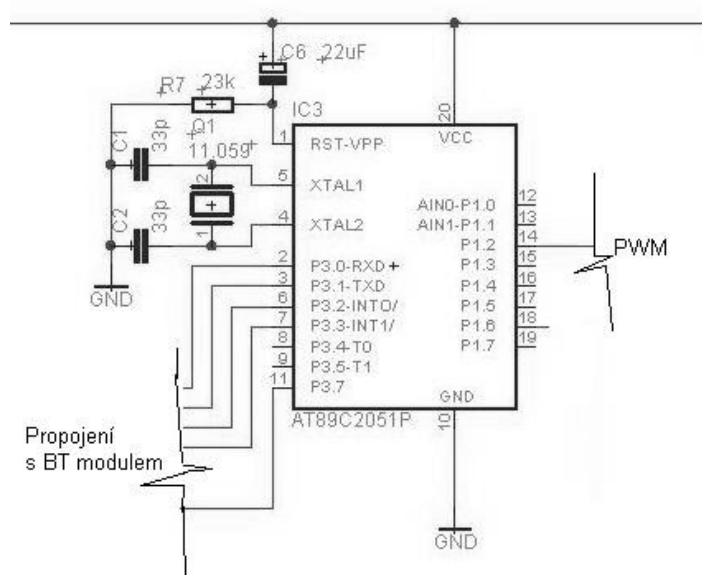
Obrázek 12: Schéma zapojení zdroje napájení

7.2.2 Mikroprocesor

V této konstrukci vybraný (AT89C2051) mikroprocesor je srdcem celého zařízení. Stará se o naprogramování a komunikaci s Bluetooth modulem pomocí sériové linky, vyhodnocuje data, která po ní přichází, generuje signál PWM. Jak již bylo řečeno, v konstrukci je použit léty a praxí ověřený mikroprocesor, který je jedním z klonů mikroprocesoru 8051, konkrétně AT89C2051 v pouzdře DIP20.

Mikroprocesor ke své činnosti a správné funkci potřebuje především zdroj napájení a zdroj hodinových impulzů o určité frekvenci. Od tohoto zdroje je poté pomocí vnitřních obvodů odvozená délka trvání strojového cyklu a doba vykonávání instrukcí.

Mikroprocesor je nutné před použitím resetovat. Jako nejvhodnější řešení se nabízí využít k resetu okamžiku připojení napájecího napětí. K tomuto účelu je mezi kladné napájecí napětí a vývod RESET připojen elektrolytický kondenzátor C6 s kapacitou 22 μ F. V obvodu AT89C2051 je již vestavěn odpor mezi vstupem RESET a zemí. Vnější odpor R7 (23 k Ω) je zde tedy pouze pro rychlejší odezvu mikrokontroléru po resetu.

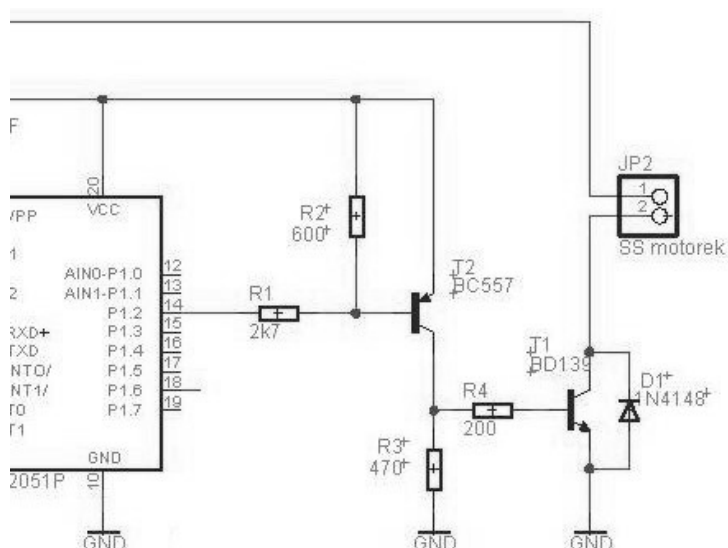


Obrázek 13: Zapojení mikroprocesoru

Brána P1.2 je použita jako výstupní. Na tuto bránu je vyveden generovaný signál PWM, který dále přes tranzistory ovládá přímo spínání stejnosměrného motorku. Brány P3.0 a P3.1 jsou křížově propojeny s vývody RXD a TXD. Tím je zajištěna možnost komunikace mezi mikroprocesorem a Bluetooth modulem pomocí sériové linky. Brána P3.7 je použita jako výstupní a vede na resetovací pin modulu Bluetooth. Díky tomu je možné programově ovládat reset modulu.

7.2.3 Spínací tranzistory pro PWM

Mikrokontrolér AT89C2051 generuje signál PWM, který ale sám o sobě nemůže být přiveden přímo na stejnosměrný motorek. Jeho signál je použit pro spínání tranzistoru T2, jenž spíná výkonový tranzistor T1, který již přímo „vypíná“ tok napětí z autodráhy do stejnosměrného motorku.



Obrázek 14: Spínací tranzistory

Pro výpočet hodnot rezistorů se vychází z proudu, který teče motorkem. Tento proud je označen symbolem I_m . Podle odhadu by měl tento proud být přibližně 0,3A. Pro spínání motorku je použit tranzistor T1 (BD139), který má zesílení $H_{21e}=25$. Tento parametr udává, že tranzistor zesílí proud, který je na bázi T1 přibližně 25krát. Z toho tedy plyne, že na bázi T1 by měl být proud $I_{BT1} = I_m/25 = 0,3/25 = 0,012$. Proud do báze T1 musí být omezen rezistorem R4 na hodnotu 12mA. Ze zdroje do T1 teče přes otevřený tranzistor T2 (při log. 0) 3,3V. Na otevřeném tranzistoru T1 je úbytek napětí přibližně 0,2V a na přechodu báze emitor 0,6V.

Z těchto údajů a Ohmova zákona vyplývá následující vzorec pro výpočet hodnoty odporu $R4 = (3,3 - 0,2 - 0,6) / I_{BT1} = 2,5 / 0,012 = 208\Omega$. Velikost odporu rezistoru byla vybrána z řady, a to konkrétně $R4 = 200\Omega$. Rezistor R3 slouží pouze k rychlejšímu zavření tranzistoru T1 a jeho hodnota byla určena odhadem na $R3 = 470\Omega$. Proud, který poteče kolektorem T2 je označen symbolem I_{cT2} . Pro zjednodušení výpočtu je zanedbán proud, který poteče do báze T2, a rezistory R1, R2 jsou brány jako nezatížené děliče napětí. U_{bT2} je obdobně jako u předešlého tranzistoru přibližně $U_{bT2} = 3,3 - 0,6 = 2,7$ V. Potom $U_{bT2} = 3,3 * (\frac{RI}{(RI + R2)}) = 2,7$. Proud rezistorem R1 by měl být přibližně 1mA a to z důvodu možnosti proudového zatížení portu mikrokontroléru AT89C2051. Tímto způsobem se vypočte součet odporů $I_{R1} = U * (R1 + R2)$. Z toho vyplývá, že $R1 + R2 = 3,3 / 0,001 = 3300$. Dosazením do původní rovnice $U_{bT2} = 3,3 * (\frac{RI}{(RI + R2)}) = 3,3 * (\frac{RI}{3300})$, získáme hodnoty odporů $R1 = 2700\Omega$ a $R2 = 600\Omega$.

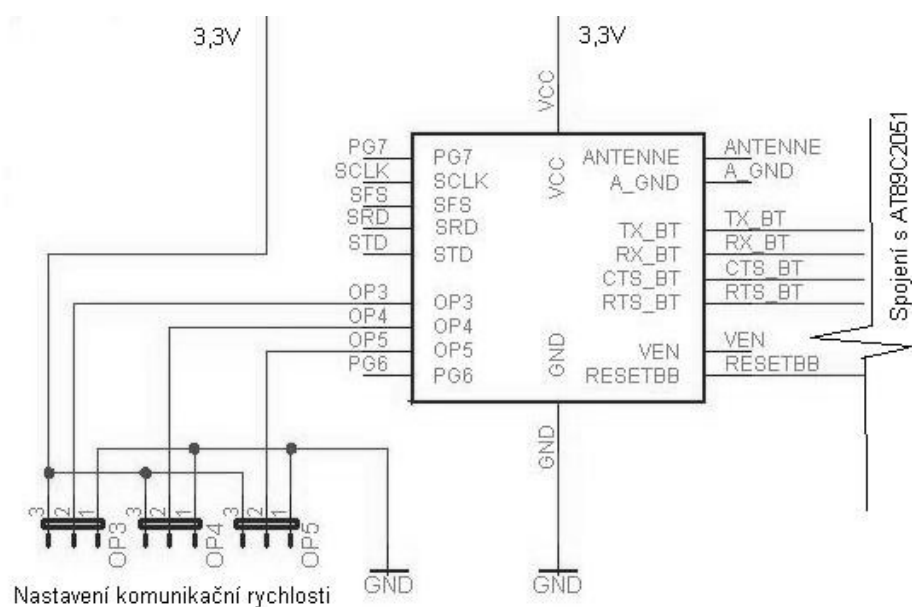
7.2.4 Bluetooth modul

Díky tomu, že Bluetooth modul již obsahuje všechny obvody potřebné k oživení mikroprocesoru LMX9830, je pro provoz modulu v této konstrukci nutné zajistit pouze napájení, komunikaci, a nastavení rychlosti komunikace tak, jak je vidět na obr. 15.

Možnost komunikace je zajištěna propojením pinů RX, TX kříženě s RX, TX mikroprocesoru AT89C2051 a dále je řízena programově pomocí programu v mikroprocesoru AT89C2051. Resetování obvodu, jak již bylo řečeno, zajišťuje AT89C2051. Nastavení rychlosti sériové komunikace se provádí nastavením kombinace pinů OP3, OP4, OP5 jednotlivě do logické jedničky či nuly podle následující tabulky. Ty jsou vyvedeny na switche pro jednoduchou a fixní možnost nastavení rychlosti komunikace.

OP3	OP4	OP5	Funkce
0	1	0	Automatické rozpoznání komunikační rychlosti
1	0	0	Nastavení rychlosti bude přečteno z EEPROM
1	0	1	9600 bps
1	1	0	115200 bps
1	1	1	921600 bps

Tabulka 4: Tabulka nastavení komunikační rychlosti



Obrázek 15: Schéma zapojení Bluetooth modulu

8 Metodika návrhu desky plošných spojů

Návrh DPS musí především vycházet z technologických omezení a podmínek výroby desky plošných spojů. DPS byla vyrobena školní laboratoří PCB-lab. Tato laboratoř byla založena se záměrem podpořit výuku specializovaných předmětů fakulty mechatroniky. Její technologie byly koncipovány tak, aby bylo možné levně realizovat především kusovou výrobu [4] .

Informace o technologických možnostech laboratoře PCB-lab

- možnost výroby jednostranné nebo dvoustranné DPS,
- maximálního rozměru 180 x 280mm,
- min. šířka (vodič/mezera) 250 um, tl. mědi st. 18Um,
- standardní materiál FR4 skladem, případně G200 nebo IS410,
- standardní tloušťka 1.5mm, (po dohodě 0,5 až 2,5),
- prokovené otvory, nejmenší otvor 0,6mm (po prokovení 0,5),
- otvory v řadě 0.6, 0.8, 1, 1.3, 1.5, 2, 2.5, 3 mm (před prokovením),
- povrchová úprava, suchá nepájivá maska, pájitelný/snímatelný lak,
- obrysové frézování, drážkování, stříhání na zákl. Obrys.

Na základě těchto informací byl vytvořen návrh desky plošných spojů v návrhovém prostředí programu Eagle a následně podle něj vyrobena deska plošných spojů v laboratoři PCB-lab.

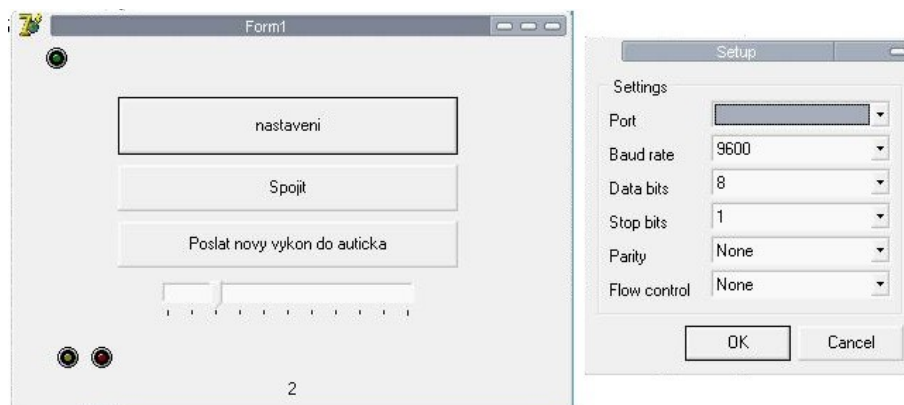
9 Software

9.1 SW na straně osobního počítače

Hlavním požadavkem na tento SW je umožnit uživateli pohodlně a intuitivně měnit otáčky stejnosměrného motoru. Jde o interface mezi uživatelem a celým zařízením. Dal by se nadneseně nazvat ovládacím panelem celého zařízení.

Zařízení (rádio Bluetooth), které je připojeno k osobnímu počítači, lze v operačním systému Windows XP nakonfigurovat takovým způsobem, že se ve vztahu k Pc chová jako sériový port. Vytvoří se virtuální COM Bluetooth sériový port. Tím se značně ulehčí vývoj softwaru na straně osobního počítače. Poté, co je vytvořen virtuální sériový port, stačí k Bluetooth komunikaci program, který je schopný komunikovat po sériové lince COM. O zbytek už se postarají ovladače Bluetooth zařízení a zařízení samotné. Toto řešení je velice elegantní a funkční.

Celý program obsahuje jen jednoduché okno s několika volbami a indikátory probíhající komunikace. Především jde o volby NASTAVENÍ PARAMETRŮ KOMUNIKACE, která činí celou aplikaci universálnější. V této nabídce lze nastavit parametry, jakými jsou například číslo portu (COM), přenosová rychlost, paritní bity a další. Dále je zde volba SPOJIT, pomocí níž se aplikace spojí s daným zařízením, a nakonec nabídka POSLAT NOVÝ VÝKON, jíž stiskem se přenese hodnota výkonu nastaveného na posuvníku do autíčka, resp. se zašle jedna z deseti hodnot přes Bluetooth zařízení do Modulu umístěném na autíčku. To ho předá po sériové lince mikroprocesoru AT89C2051, který data vyhodnotí a upraví pomocí PWM modulace otáčky motorku.



Obrázek 16: Okna aplikace umístěné v PC

9.2 Programování Bluetooth modulu

9.2.1 Princip UART protokolu

Jak již bylo řečeno dříve, modul BlueNiceCom je založen na mikroprocesoru LMX9830. Tento mikroprocesor lze ovládat pomocí jednoduchých příkazů zasílaných přes sériové rozhraní. Tyto příkazy mají přesně předepsaný speciální formát rámce, který je nutno dodržet.

9.2.2 Skládání rámce paketů

Všechny rámce odeslané v obou směrech jsou a musí být sestaveny podle tohoto modelu.

Start delimiter	Packet Type identification	Op code	Data length	Check-sum	Packet Data	End delimiter
1 byte	1 byte	1 byte	2 bytes	1 byte	<Data length> bytes	1 byte

Obrázek 17: Složení rámce paketů

- Start delimiter

1 byte, který indikuje začátek nového paketu a má vždy hodnotu 0x02 hex.

- Packet type identification

1 byte, který určuje, o jaký typ paketu se jedná (indikace, požadavek, atd.).

- Opcode

1 byte, který blíže určuje druh příkazu.

- Data length

2 byty, které určují velikost rámce Packet Data, maximum je 333 bytů.

- Checksum

1 byte, který obsahuje kontrolní součet tvořený nižším bytem součtu rámců Packet Type, Opcode a Data length.

- Packet Data

obsahuje binární data, tento paket má proměnnou délku.

- End delimiter

1 byte indikující konec rámce, který má vždy hodnotu 0x03 hex.

9.3 Program pro mikroprocesor AT89C2051

9.3.1 Volba programovacího jazyka

V poslední době se výrazně změnil způsob programování mikrokontrolérů. Tendencí je snižovat dobu vývoje softwaru přestože složitost aplikací se zvyšuje. Dále vyvstaly požadavky na opakovatelnou použitelnost, průhlednost, přesnost a udržitelnost softwarových modulů. To vše vyžaduje použití vyšších programovacích jazyků. Pro tyto účely se jeví jako velmi vhodný jazyk ANSI-C, a proto se postupně upouští od jazyka Assembler, který se dříve pro programování mikroprocesorů hojně používal. C je v současné době nejčastěji používaným jazykem při programování mikrokontrolérů [5]. Jednou z jeho výhod je možnost tvorby tzv. zapouzdřených systémů, kterou umožňuje jeho blízkost hardwaru, efektivní a pružná práce s pamětí a přídavnými zařízeními. Pochybnosti týkající se velikosti kódu a rychlosti zpracování již při použití moderních mikrokontrolérů a překladáčů nejsou na místě.

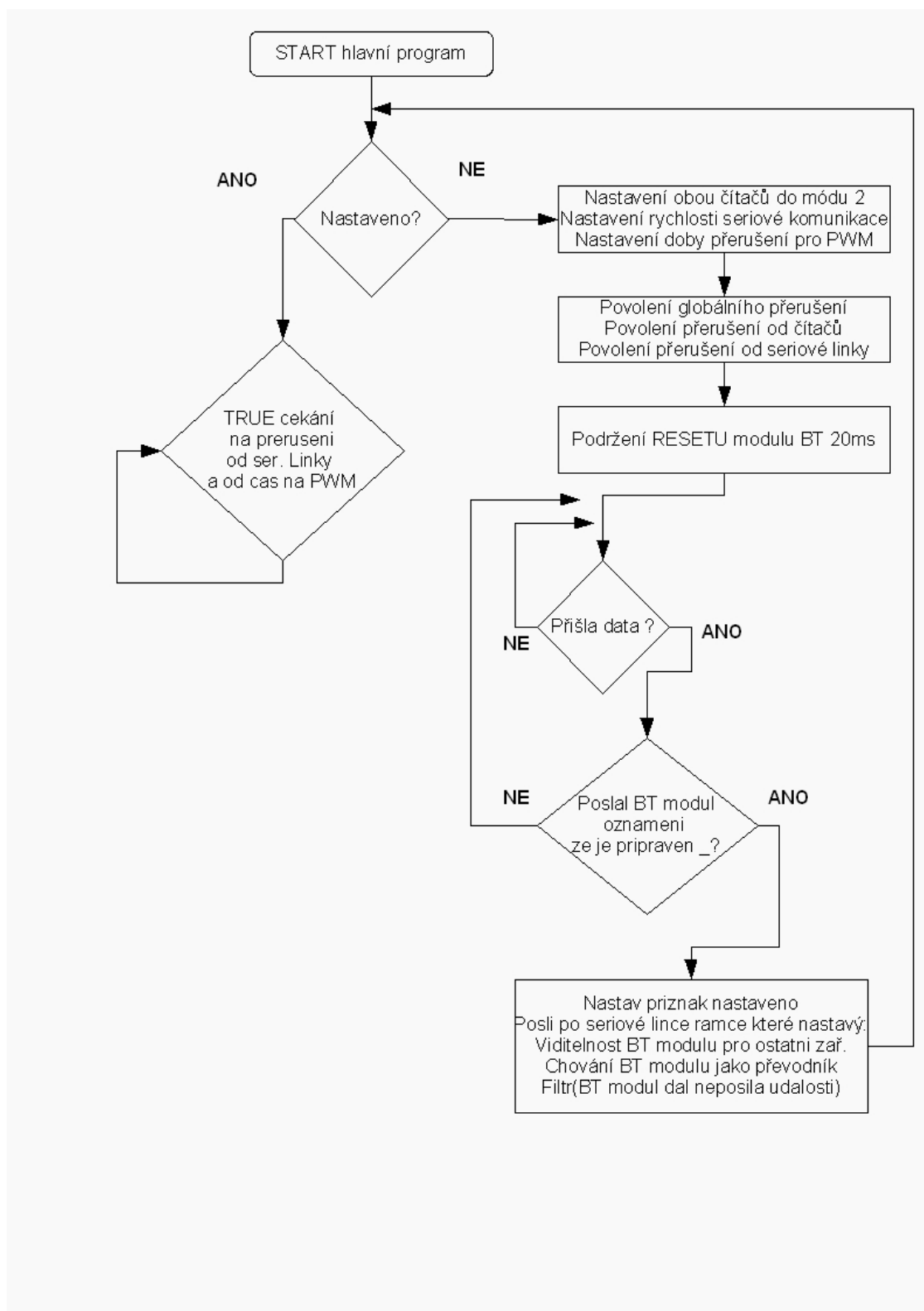
9.3.1 Program

Mikroprocesor se především stará o obsluhu Bluetooth modulu a stejnosměrného motorku.

V první fázi je tedy nutné Bluetooth modul restartovat, a to podržením pinu P3.7 v logické jedničce po dobu cca. 10ms. Po resetu modulu se musí přijmout paket dat a vyhodnotit, zda jde o rámec, který určuje, že Bluetooth modul je připraven přijímat příkazy, jimiž je možné modul nastavit do potřebného módu. Aby byl Bluetooth modul viditelný pro „zbytek světa“, musí se nastavit do viditelného módu. Jedině tak je možné se k modulu připojit pomocí PC. Modulu je dále poslán paket dat, který ho přepne do módu TRANSPARENT. V tomto módu se modul chová jako náhrada kabelu a veškerá data, která k němu přijdou nijak neinterpretuje, ale rovnou je tak, jak přišla, posílá po sériové lince dál. Tento mód je pro danou aplikaci zcela vyhovující.

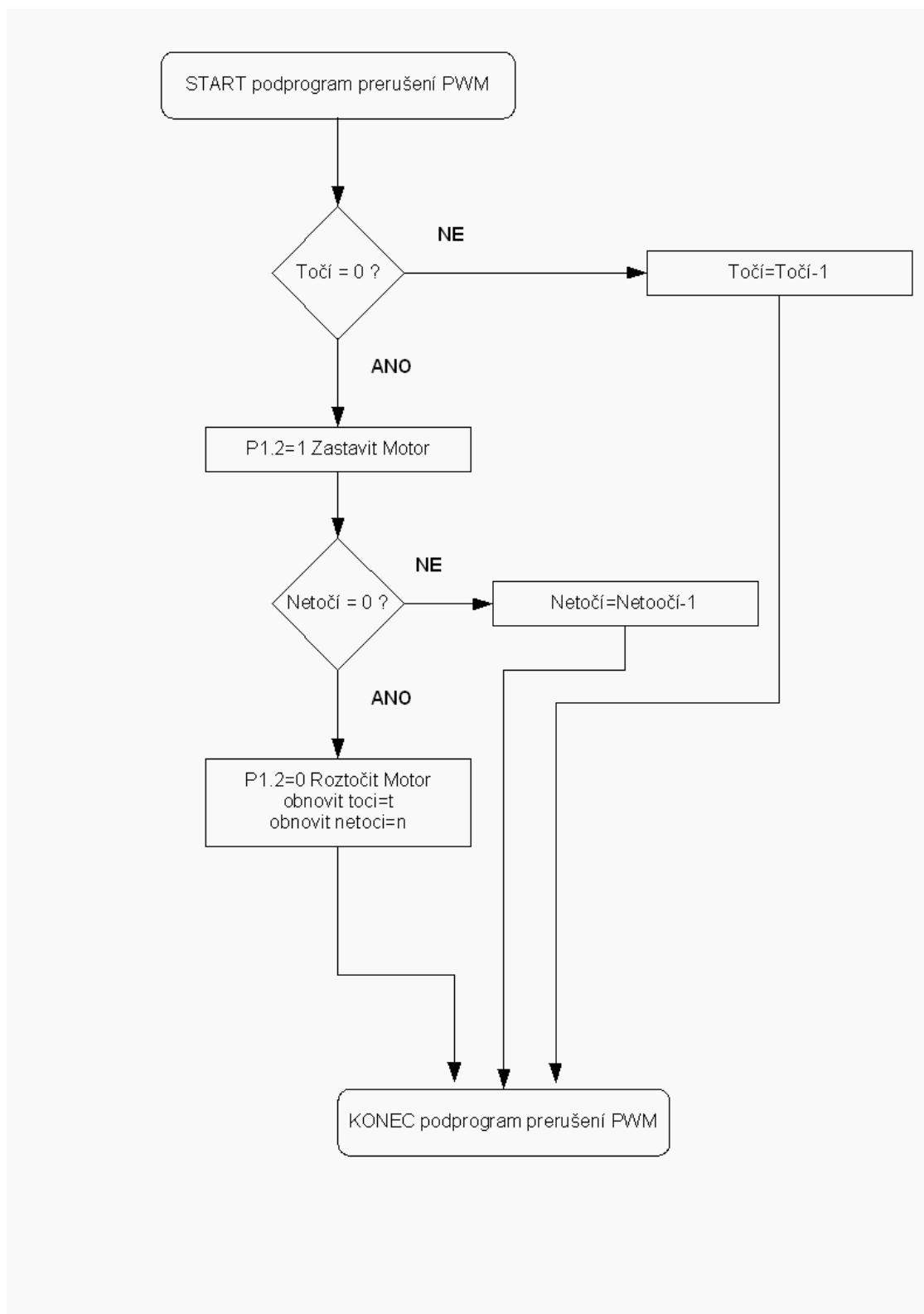
Poté, co je provedeno toto počáteční nastavení, zůstane program v nekonečné smyčce, kde pouze čeká na příchozí data, podle kterých je upravován poměr periody pro pulzně šířkovou modulaci, která je rovněž generována softwarově. Ke generování PWM je použit interní časovač mikroprocesoru a jednoduchý cyklus.

9.3.2 Vývojový diagram hlavní části programu



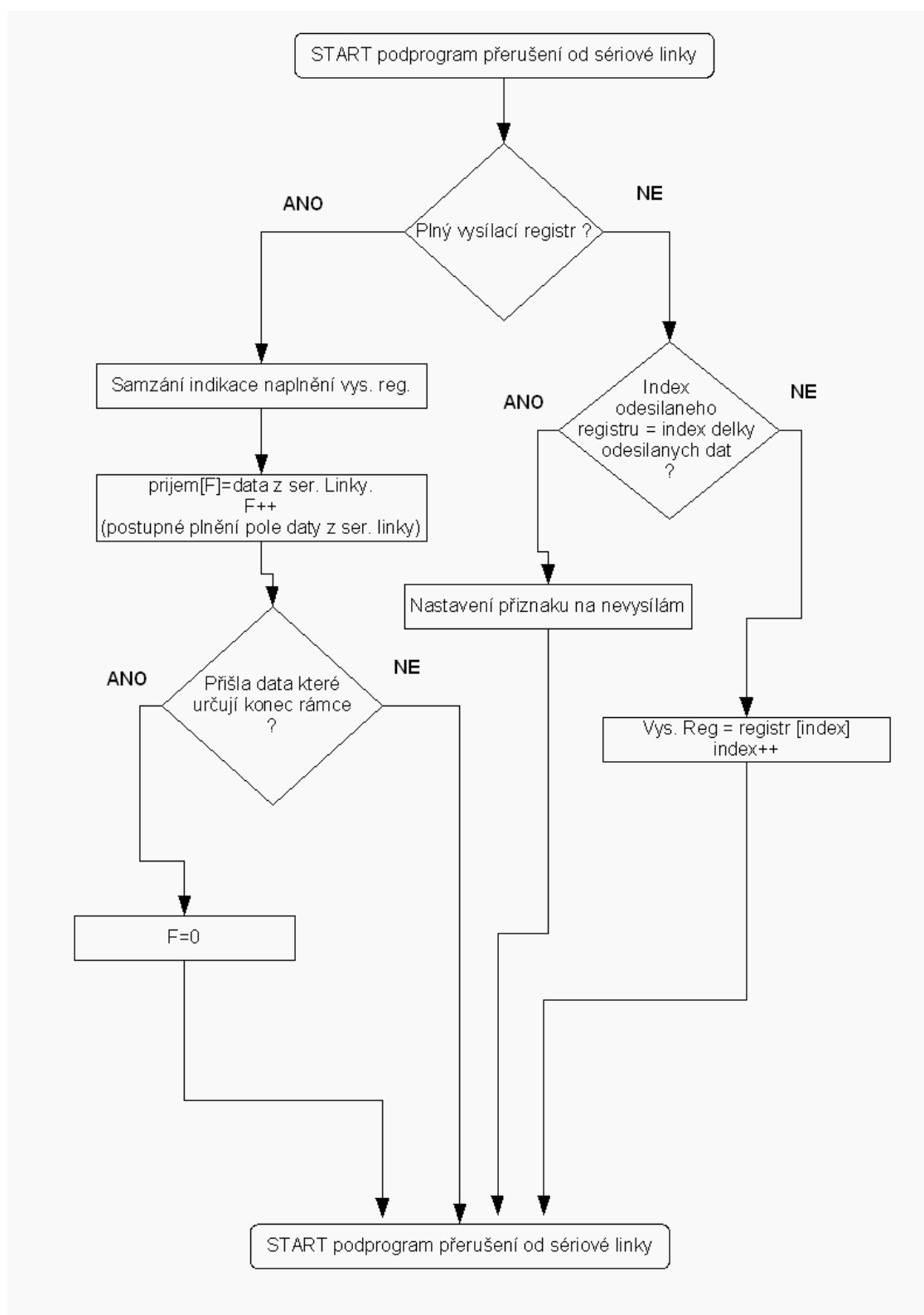
Obrázek 18: Vývojový diagram hlavního programu v AT89C2051

9.3.3 Vývojový diagram podprogramu přerušení od časovače pro PWM



Obrázek 19: Vývojový diagram podprogramu přerušení od časovače (PWM)

9.3.4 Vývojový diagram podprogramu přerušení od sériové linky

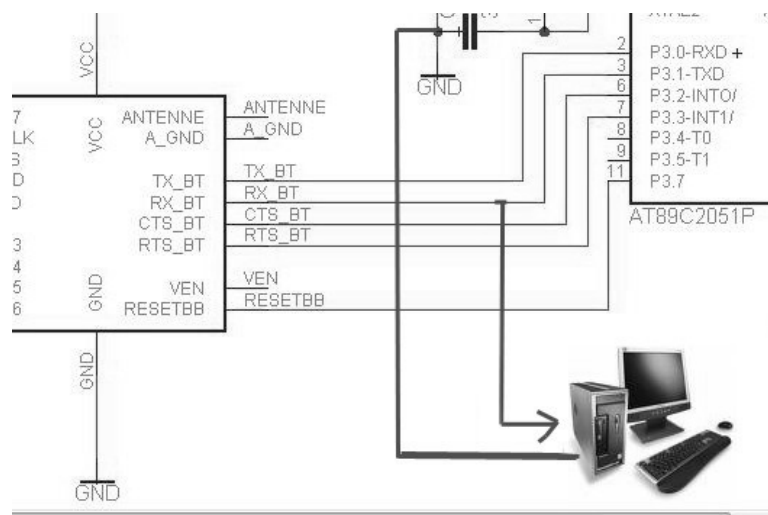


Obrázek 20: Vývojový diagram podprogramu přerušení od sériové linky

9.4 Vizualizace komunikace AT89C2051 s BT modulem

Při nastavování BT modulu, to je při zasílání rámců určujících, jak se má modul chovat, vyvstal požadavek na vizualizaci potvrzovacích rámců zpětně generovaných modulem. Potvrzovací rámce obsahují potvrzení o přijetí rámce a informaci o reakci modulu na rámec, potvrzení o vykonání požadavku, chybové hlášení a další. Nabízí se vizualizace pomocí stejnosměrného motorku. Ta je ale naprosto nedostačující, jelikož obsahuje příliš málo stavů.

Proto byl k vizualizaci použito Hyperterminálu. Hyperterminál je běžnou součástí programového vybavení systému Win XP a umožňuje vizualizaci sériové komunikace mezi zařízením a PC. Na sériovou linku bylo připojeno odposlouchávací zařízení propojené s osobním počítačem, konkrétně pak na pin TXD a GND mikroprocesoru AT89C2051. To samo osobě ale nestačí. Do mikrokontroléru byla naprogramovaná funkce, která všechna příchozí data překonvertuje do pro Hyperterminál čitelné formy. Konkrétně jsou hexadecimální data překonvertována do jim odpovídajících hodnot ASCII kódu. Tato data jsou poté odeslána po sériové lince, čímž je zajištěna vizualizace v programu Hyperterminál.

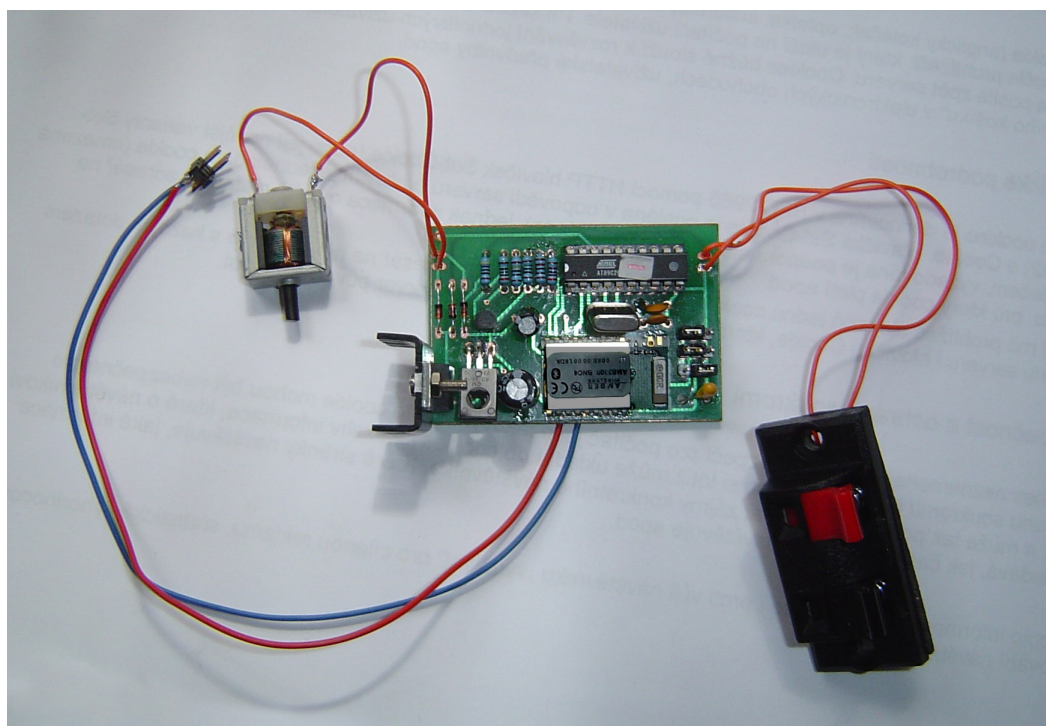


Obrázek 21: Schéma připojení odposlouchávacího zařízení

Závěr

Oživení desky probíhalo postupně. Nejprve byl zapájen zdroj napětí a zkontrolován výstup ze stabilizátoru, kde bylo naměřeno napětí naprázdno 3,25V. To plně odpovídá předpokládané (vypočtené) hodnotě.

Poté byly zapájeny spínací obvody a stejnosměrný motorek. Jednoduchým testem byla ověřena funkčnost této části modulu. Po přivedení 3V na rezistor R4 tranzistor T1 sepnul a v tomto stavu zůstal po celou dobu připojeného napětí. Tímto testem byla ověřena správnost výpočtu rezistoru R4 a R3. Obdobným způsobem, tedy uzemněním rezistoru R1, bylo zjištěno, že naopak tranzistor T2 nespíná. Z tohoto důvodu byly experimentálně změněny hodnoty rezistorů u T2 tak, aby tranzistor spínal při uzemnění. Nové hodnoty jsou $R1=470\Omega$, $R2=10k\Omega$. Při těchto hodnotách již tranzistor reaguje podle požadavků které jsou na něj kladeny.



Obrázek 22: Hotové zařízení

Jako třetí krok oživení byl zapájen modul Bluetooth a byl zasazen mikrokontrolér AT89C2051. Byla ověřena funkčnost programu pro PWM regulaci otáček motorku. Ta je plně funkční. Bylo ovšem zjištěno, že pro přesnější použití je vhodné periodu rozdělit na více než 10 částí, ideálně pak na jednu z binárních hodnot registrů, například 255.

Jednoduchým testem (zaslání požadavku s odezvou) byla ověřena funkčnost sériového přenosu mezi mikrokontroléry, která byla odposlouchávána a zobrazována v hyperterminálu na PC.

Po naprogramování Bluetooth modulu byla ověřena viditelnost modulu pro okolní zařízení (Pc). Počítač modul našel a v poskytovaných službách zobrazil pouze sériovou komunikaci, což přesně odpovídá nastavení modulu.

Celé zařízení bylo z časových důvodů otestováno pouze „na stole“ nikoliv na autodráze. Může se tedy stát, že použitím na autodráze se projeví další nedostatky, jakými by mohl být například již zmiňovaný problém s nedostatečnou velikostí vyrovnávacího kondenzátoru.

Zde navrhované zařízení slouží jako příklad jednoho z možných řešení zadaného problému. Řízení pomocí osobního počítače umožňuje do budoucna vytvořit, z původně prostého nahrazení kabelu, plně automatické zařízení, které lze jednoduše doplnit například o modul, který by celou aplikaci ovládal prostřednictvím internetu na velké vzdálenosti. Poznatky získané tvorbou tohoto zařízení lze aplikovat pro tvorbu zařízení použitelného například i v průmyslu.

Seznam použité literatury

[1] BRADÁČ, Zdeněk – FIEDLER, Petr: Bezdrátové komunikace v automatizační praxi II. AUTOMA. 1.1.7.2003, roč. 2003, č. 7, s. 5-11.

[2] Přenos dat po linkách RS485 a RS422 [online]. 2007 [cit. 2007-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.papouch.com/shop/scripts/_ruzne.asp?clanek=rs232>.

[3] Atmel Corporation. Atmel home page [online]. [2007] [cit. 2007-03-20]. Dostupný z WWW:<http://www.atmel.com/dyn/products/param_table.asp?family_id=604&OrderBy=part_no&Direction=ASC>.

[4] PCB [online]. 2005 [cit. 2007-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.fm.vslib.cz/~kes/pcb_lab/index.html>.

[5] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry : Mikrokontroléry a praxe. Václav Losík. [s.l.] : [s.n.], 2004. 278 s. ISBN 80-7300-077-6.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní koncepce jednotky Bluetooth.....	12
Obrázek 2: a)Buňka piconet s jednou řídící a jednou řízenou buňkou, b)Buňka piconet s více řízenými jednotkami, c) Buňka scatternet.....	14
Obrázek 3: Blokové schéma mikroprocesoru 8051.....	22
Obrázek 4: AT89C2051 v pouzdře DIP20.....	23
Obrázek 5: Bluetooth/RS-232 převodník.....	24
Obrázek 6: Pouzdro mikroprocesoru LMX9830.....	24
Obrázek 7: Modul BlueNiceCom IV a jeho blokové schéma.....	25
Obrázek 8: Náhradní schéma stejnosměrného motoru.....	27
Obrázek 9: Závislost otáček na napětí.....	28
Obrázek 10: Blokové schéma celého zařízení.....	29
Obrázek 11: Kartáče zajišťující přenos elektrické energie.....	30
Obrázek 12: Schéma zapojení zdroje napájení.....	31
Obrázek 13: Zapojení mikroprocesoru.....	32
Obrázek 14: Spínací tranzistory.....	33
Obrázek 15: Schéma zapojení Bluetooth modulu.....	35
Obrázek 16: Okna aplikace umístěné v PC	37
Obrázek 17: Složení rámce paketů.....	38
Obrázek 18: Vývojový diagram hlavního programu v AT89C2051.....	40
Obrázek 19: Vývojový diagram podprogramu přerušení od časovače (PWM).....	41
Obrázek 20: Vývojový diagram podprogramu přerušení od sériové linky.....	42
Obrázek 21: Schéma připojení odposlouchávacího zařízení.....	43
Obrázek 22: Hotové zařízení.....	44

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení zařízení podle vyzařeného výkonu.....	11
Tabulka 2: Přehled vybraných parametrů mikrokontrolérů.....	20
Tabulka 3: Některé vybrané vlastnosti modulu Bluetooth.....	26
Tabulka 4: Tabulka nastavení komunikační rychlosti.....	35

Seznam příloh

Příloha A: Obsah přiloženého CD

Příloha B: Kompletní elektronické schéma zapojení modulu

Příloha C: Deska plošných spojů

Příloha D: Kompletní zdrojové kódy

I.Zdrojový kód pro mikroprocesor AT89C2051

II.Zdrojový kód programu pro PC

Příloha A: Obsah přiloženého CD

Na přiloženém CD jsou umístěny tyto adresáře:

/BP

tento dokument ve formátu PDF a ODT.

/Katalogové_listy

katalogové listy součástek, které byly použity ke konstrukci.

/Eagle

adresář se schématem a návrhem desky plošných spojů.

/Programy

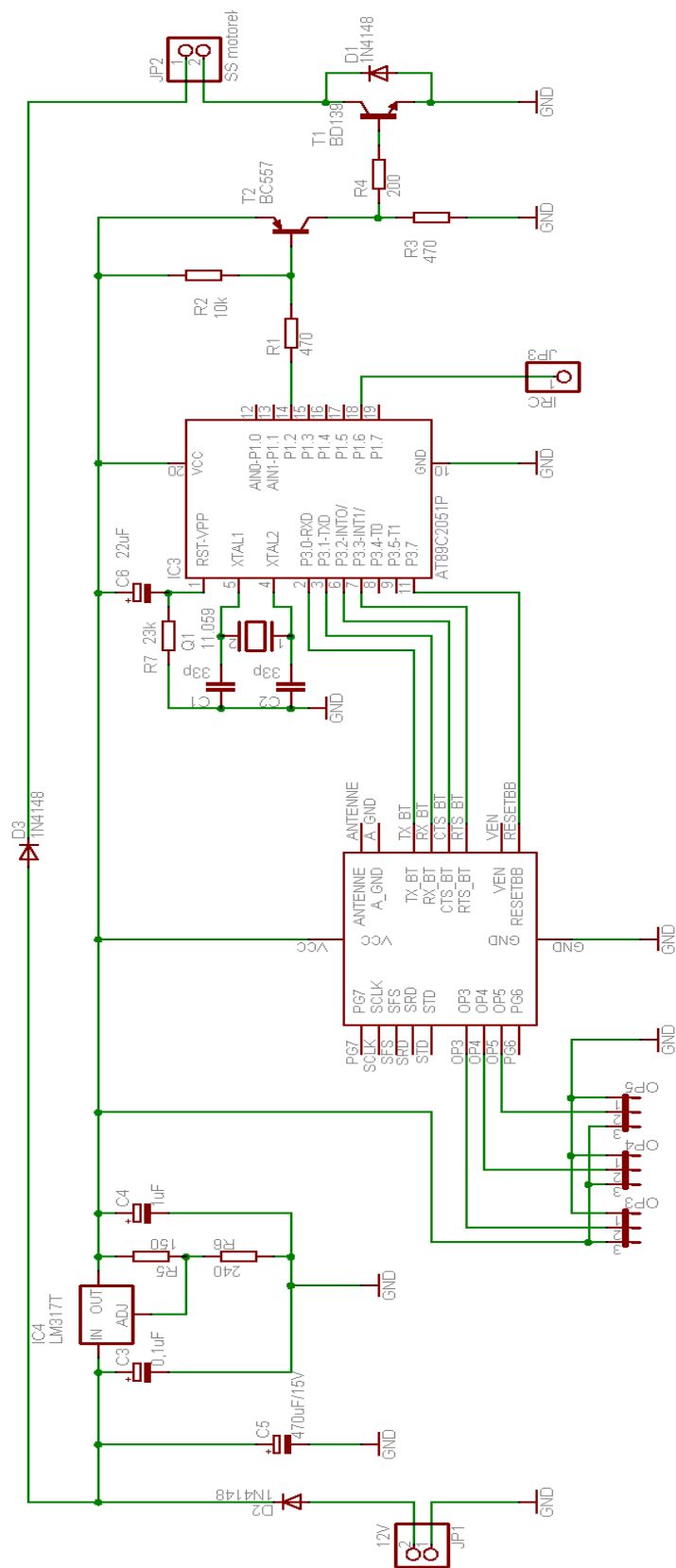
adresář obsahující editor PSpad vhodný pro psaní programů v jazyce C, kompilátor jazyka C SDCC, program pro programátor PatmelX.

/Zdrojové_kódy

zde jsou obsaženy zdrojové kódy v jazyce C pro mikrokontrolér AT89C2051

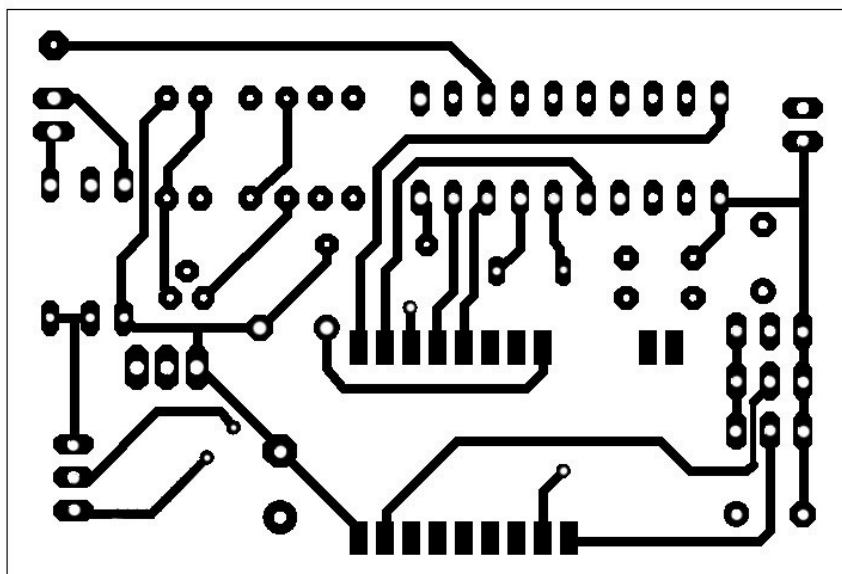
a zdrojové kódy programu vytvořeného ve vývojovém prostředí Delphi včetně spustitelného souboru s příponou exe.

Příloha B: Schéma zapojení modulu

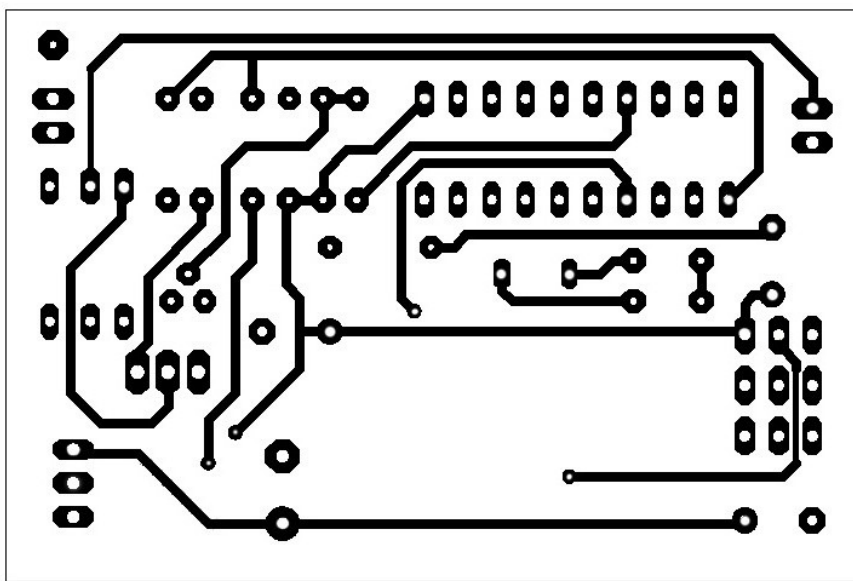


Příloha C: Deska plošných spojů

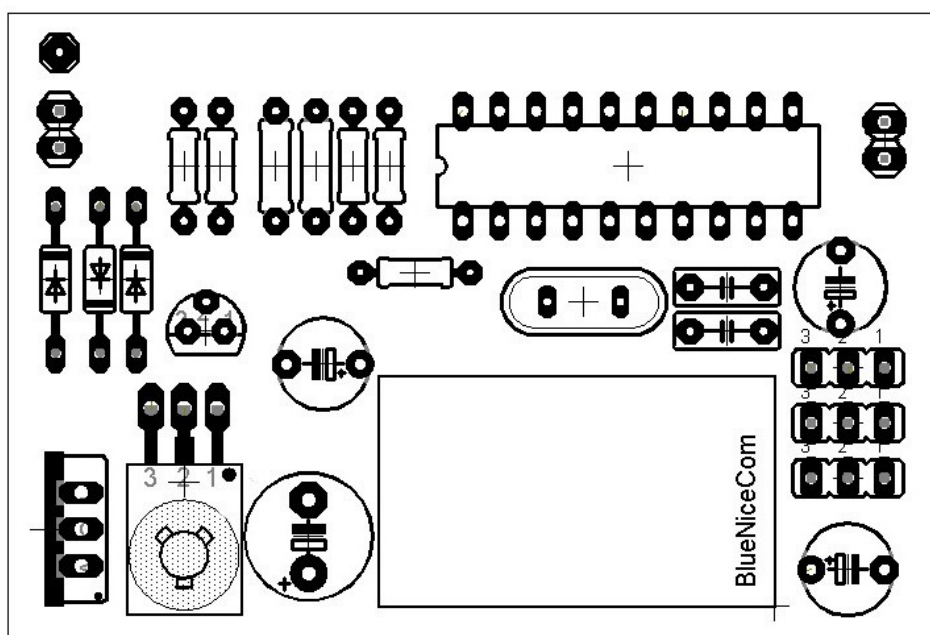
Pohled shora (vrstva TOP):



Pohled zdola (vrstva BOTTOM):



Rozmístění součástek na desce plošných spojů:



Příloha D: Zdrojové kódy

I. Zdrojový kód pro mikroprocesor AT89C2051

```
#include <at89x051.h>
#include <stdio.h>

#define _P3 0xB0
sbit at _P3+7 reset;
sbit at _P3+2 cts;
sbit at _P3+3 rts;

unsigned char uart_data;
unsigned char t_buf_0[24];
unsigned char prijem[12];
unsigned char ready[12]={0x02,0x69,0x25,0x05,0x00,0x93,0x04,0x30,0x32,0x31,0x30,0x03};
unsigned char filter[8]={0x02,0x52,0x4E,0x01,0x00,0xA1,0x03,0x03};
unsigned char discoverable[9]={0x02,0x52,0x06,0x02,0x00,0x5A,0x01,0x01,0x03};
unsigned char transparent[8]={0x02,0x52,0x11,0x01,0x00,0x64,0x01,0x03};
int r=0,p=0,w=0,i,ii,iii,f=0,t_f_0,t_index_0,t_length_0,t,shodne=0,j=0,konec=0;
int t=0,n=10,toci=0,netoci=10,i=0x20,nastaveno=0;

//deklarace konec
void delay(unsigned int doba)
{
    unsigned int i;
    for (i = 0; i < doba; i++);
}

//
unsigned char Convert_to_ASCII (unsigned char Data_convert,unsigned char Order)
{
    if (Order==0)
    {
        Data_convert &= 0x0F;
        if (Data_convert < 10) { return(Data_convert+48); }
        else { return(Data_convert+55); }
    }
    else
    {
        Data_convert = (Data_convert & 0xF0) >> 4;
        if (Data_convert < 10) { return(Data_convert+48); }
        else { return(Data_convert+55); }
    }
}
```

```

void Send_data_0()                                //poslani dat
{
    t_f_0      = 1;          // prave vysilam
    t_index_0   = 0;          // urcuje poradi vysilaneho paketu
    TI          = 1;          // umele vyvola preruseni
}
//
void Send_string(char text[]) // funkce pro zobrazeni kodu V ROZUMNE PODOBE
{
    while(t_f_0==1) {;}
    i = 0;
    ii=0;
    konec=0;
    while(konec == 0)
    {
        t_buf_0[i] = Convert_to_ASCII(text[ii],1);
        t_buf_0[i+1] = Convert_to_ASCII(text[ii],0);
        if(text[ii] == 0x03){konec=1;}
        i=i+2;
        ii=ii+1;
    }

    t_length_0   = i;
    Send_data_0();
}

void request(char kod[],int del) //funkce pro poslani prikazu do BTmodulu
{
    while(t_f_0==1) {;}
    iii = 0;

    while(iii<del)
    {
        t_buf_0[iii] = kod[iii];

        iii++;
    }

    t_length_0   = iii;
    Send_data_0();
}

```

```

void timer0_ISR (void) interrupt 1
{

    if(toci==0)
    {
        P1_2=1;

        if(netoci==0)
        {
            P1_2=0;
            netoci=n;
            toci=t;
        }else{netoci=netoci-1;}

    }else{tocl=toci-1;}

    TH0 =0;
}

```



```

void serial_IT(void) interrupt 4 {

    if (RI == 1) {
        RI = 0;
        if(nastaveno==0){
prijem[f]=SBUF;
            f++;
            if(prijem[f-1] == 0x03){f=0;r=1;}
        }
        if(nastaveno==1)
    {
        uart_data = SBUF;
        t=uart_data;
        toci=t;
        n=10-uart_data;
        netoci=n;
    }

    }
    else {

        TI = 0;
        if (t_index_0==t_length_0)
        {
            t_f_0=0;

        }
        if (t_index_0<t_length_0)
        {
            SBUF=t_buf_0[t_index_0++];
        }

    }

}

```

```

void main (void) {

cts=0;
rts=0;
reset=0;
delay(10000);
delay(10000);
reset=1;
EA = 1;          /* Povoleni Globalniho Preruseni */

TMOD=0xAA;
SCON = 0x50;          /* uart v modu 1 (8 bit), REN=1 */
TH1  = 0xFD;          /* 9600 Bds pri frekv 11.059MHz */
TR1 = 1;              /* 9600 Bds pri frekv 11.059MHz */
ES = 1;              /* Spusteni casovacce 1*/

TH0 =0xFD;
TR0 = 1;
ET0 = 1;

while (1)
{
    if (r==1){

        if(j==0){
            for(t=0;t<=11;t++)
            {
                if(prijem[t]==ready[t]) { shodne=1; }
                if(prijem[t]!=ready[t]) { shodne=0; }
            }
            if(shodne==1)
            {
                j=1;
            }
        }
        Send_string(prijem);
        r=0;
        j++;

        if(j==1){

            request(discoverable,9);

            request(transparent,8);
            j=2;
            nastaveno=1;
        }
    }
}
}

```

II. Zdrojový kód programu pro PC

```
unit BT;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, CPort, ComCtrls, CPortCtl;

type
  TForm1 = class(TForm)
    ComPort1: TComPort;
    Button1: TButton;
    TrackBar1: TTrackBar;
    Label1: TLabel;
    Button2: TButton;
    ComLed1: TComLed;
    ComLed2: TComLed;
    ComLed3: TComLed;
    Button3: TButton;
    Label2: TLabel;
    procedure TrackBar1Change(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    hodnota, bufer: ShortInt;

    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation
```

```

{$R *.dfm}

procedure TForm1.TrackBar1Change(Sender: TObject);
begin
hodnota:=TrackBar1.Position;
Label1.Caption:=inttostr(hodnota);
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Comport1.Write(bufer,hodnota);
end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
Label1.Caption:=inttostr(hodnota);
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Comport1.Open;
if Comport1.Connected=true then Label2.Caption:='Spojeno';
if Comport1.Connected=false then Label2.Caption:='Spojeno';
end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
ComPort1.ShowSetupDialog;
end;

end.

```